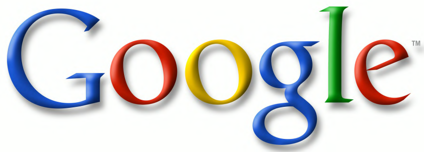


Handbuch der Sprengarbeit

Friedr. Vieweg & Sohn
Braunschweig

Ankündigung.

Der Zweck des vorliegenden Buches ist, aus den überall zerstreuten Arbeiten dem Ingenieure, Bergmanne, Techniker, überhaupt dem Manne der Praxis in gedrängter Form eine systematische Übersicht alles dessen zu bieten, was nach langjährigen Erfahrungen auf dem Gebiete der Sprengarbeit sich als gut und richtig erwiesen hat. In dieser zweiten Ausgabe wurde das gesamte Material dem heutigen Stande entsprechend neu bearbeitet und wesentlich erweitert.

Braunschweig, im August 1906.

Friedrich Vieweg und Sohn.

Handbuch

der

Sprengarbeit

Abbildungen
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig

Handbuch

der

Sprengarbeit

von

Oscar Guttmann

Ingenieur-Konsulent in London, Mitglied verschiedener Ingenieur- und gelehrter Institute

---

Zweite Auflage

Mit 146 Abbildungen im Text und auf 4 Tafeln sowie 2 Tabellen

---

(Zugleich als dreizehnte Lieferung von Bolley-Englers Handbuch der chemischen Technologie. Neue Folge)

Braunschweig

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn

1906

Published August 28, 1906.
Privilege of Copyright in the United States reserved under the Act approved March 3, 1905 by Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, Germany.

Meinem hochgeschätzten Gönner und Freunde

Friedrich Ritter von Bányai-Reitz

ehemaligem Kgl. Ung. Ministerialrate und Leiter
der Bergbehörden Ungarns

hatte ich einst die Widmung dieses Buches versprochen. Der Tod hat ihn, zu früh für seine vielen Verehrer, hinweggerafft, ehe ich, durch Umstände aller Art verhindert, meine Arbeit veröffentlichen konnte. So sei denn dieses Blatt seinem Andenken geweiht!

Oscar Guttmann.

Vorwort zur ersten Auflage.

Seit vielen Jahren in der Explosivstoffindustrie und dem Bergbaue tätig, habe ich lange den vielfach an mich gestellten Aufforderungen widerstanden, durch ein unparteiisch gehaltenes, möglichst umfassendes Buch die nötige Hilfe Jenen zu bieten, welche in der Zivilindustrie Sprengarbeiten auszuführen haben.

Ich will auch jetzt noch nicht geradezu behaupten, daß ein solches Buch unausweichliches Bedürfnis sei, noch weniger, daß meine Arbeit besonders Neues oder Hervorragendes bringe. Seitdem das Dynamit eine Umwälzung der gesamten Sprengarbeit bewirkt hat, sind ja die Ingenieure aller Länder mit der Ausbildung der neuen Vorgangsweisen beschäftigt, und die Ergebnisse ihrer Studien wurden doch allenthalben veröffentlicht. Dennoch glaube ich, daß dieses Handbuch der Sprengarbeit willkommen sein werde; denn es ist nicht Jedermanns Sache, die zerstreut vorkommenden Nachrichten zu sammeln und das Brauchbare auszuwählen, und eigentlich zusammenfassende Arbeiten gibt es nur sehr wenige. Man hat sich meist begnügt, die Erfahrungen Anderer, insbesondere des österr.-ungar. technischen und administrativen Militärkomitees, abzuschreiben, und nicht selten unrichtig aufzufassen. Häufig findet man auch Zusammenstellungen von an verschiedenen Orten ausgeführten Sprengarbeiten, welche wohl sehr belehrend sind, aber kein übersichtliches Bild geben.

Diese Fehler wollte ich vermeiden, trotzdem meine seit vielen Jahren angehäuften Sammlungen dazu erst recht verlockten; ich gedachte jedoch vielmehr dem Manne der Praxis in gedrängter Form alles das an die Hand zu geben, was sich als gut und richtig erwiesen hat. Ich habe mich deshalb ebenso von theoretischen Erörterungen fern gehalten, welche über das allgemeine Verständnis hinausgehen, wie ich Gegenstände nicht oder nur flüchtig berührte, welche außerhalb der eigentlichen Sprengarbeit liegen.

Manche Folgerungen, manche Formeln und Angaben weichen von den bisher gangbaren ab; die Rücksicht auf die Einfachheit und die Erfahrungen der Praxis bestimmten mich jedoch, lieber deren Begründung einer Kritik auszusetzen, als Vorwürfe von Jenen zu erhalten, welchen dieses Buch, wie ich es wünsche, ein nützlicher Ratgeber sein soll.

London, im Januar 1892.

Oscar Guttmann.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Für diese zweite Ausgabe meines Handbuches der Sprengarbeit habe ich den gesamten Stoff dem heutigen Stande entsprechend neu bearbeitet, insbesondere in Hinsicht auf Bohrmaschinen und Explosivstoffe.

Obzwar in bezug auf die theoretische Begründung der Sicherheitssprengstoffe große Fortschritte gemacht wurden, zog ich es doch vor, bloß eine Übersicht derselben für Praktiker zu bringen, welche, wenn nötig, sich in Spezialwerken über Explosivstoffe eingehend belehren können.

Eine Anzahl neuer Abbildungen und besonders zusammengestellte Tafeln über Sicherheitssprengstoffe sind neu aufgenommen worden.

London, E. C., im Mai 1906.
12, Mark Lane.

Oscar Guttmann.

Inhaltsverzeichnis.

Geschichte.

Die Geschichte der Sprengarbeit wird notwendigerweise hauptsächlich eine Geschichte des Schießpulvers sein müssen, weil jahrhundertelang kein anderer Explosivstoff bekannt war.

Die Erfindung des Schießpulvers, fälschlich einem sagenhaften Mönche Berthold Schwarz, auch Bertholdus Niger und Anklitzen genannt, von anderen wieder einem Typsilos und einem Altiral, dann aber auch den Chinesen, Indiern, Arabern usw. zugeschrieben, ist, nach den Untersuchungen des Verfassers[1]), nicht plötzlich erfolgt. Es ist sichergestellt, daß Roger Bacon im Jahre 1248 bereits das Schwarzpulver kannte. Dank den Untersuchungen von Oberstleutnant Hime wissen wir, daß gewisse dunkle Kapitel in Bacons Buch „De potestate artis et nullitate magiae“ in Wirklichkeit klare Vorschriften für die Reinigung des Salpeters und für die Herstellung von Schwarzpulver enthalten, es ist aber zweifelhaft, ob er seine treibenden Eigenschaften kannte. Tatsächlich dürfte das Schießpulver sich aus dem lange bekannten „Griechischen Feuer“ entwickelt haben, welches allmählich Zusätze erhielt, die endlich zwischen den Jahren 1310 und 1320 zur Entdeckung der treibenden Eigenschaften einer so vervollkommneten Mischung und damit zum Schießpulver führten.

Drei Jahrhunderte hindurch wurde das Schießpulver ausschließlich in Waffen verwendet. Noch im Jahre 1617 schrieb Löhneyß: „Auff den schneidigen Gängen arbeitet man mit Keilhawen / Auff den festen aber mit Bergkeisen und Handfeustel /“ .... „Auff dem festen Gestein im hangenden / arbeitet man mit stärkeren vnd grösseren Bergkeisen / dann man verfähret die Gänge gemeiniglich im hangenden / Auff dem gar festen Gestein setzt man mit Fewer.“ Dies beweist, daß die angebliche Erfindung der Sprengarbeit im Jahre 1613 durch Martin Weigold oder Weigel in Freiberg nicht Stich hält.

Selten wird eine Erfindung plötzlich gemacht. Auch die Sprengarbeit scheint sich langsam vorbereitet zu haben. Im „Bergwercksschatz“ von Elias

[1]) Näheres in des Verfassers Werk „Die Industrie der Explosivstoffe“, Braunschweig, Friedr. Vieweg u. Sohn.

Montanus (Frankfurt a. Main 1622) findet sich unter der Überschrift: „Vom Brech-Zeuge. De pvlta", die Schilderung einer kupfernen Kugel mit einem Loche von der Dicke eines großen Federkieles, welche mit gutem „Büchsen-Pulver" gefüllt, mit in Salpeter gesottener Baumwolle umkleidet, in eine Schmelze von Pech und Schwefel getaucht und angezündet, in den Schacht oder Stollen geworfen wird, um durch ihr „Abgehen" den vom Feuersetzen angesammelten Rauch herauszutreiben. Dabei wird aber empfohlen, die Grubengebäude vorher wohl zu prüfen, „damit man ihn nicht schaden thut, denn es reisset auch ein wenig mit". Auch soll man sie zur Befahrung alter Gruben benutzen, indem die Kugel als Vorläufer gesendet wird, „damit man erfahre, ob auch was brechen wil".

Es liegt nahe, anzunehmen, daß dieses „Mitreißen" und „Brechen" Veranlassung wurde, später einmal Pulver unmittelbar in verhandene Spalten zu geben, und seine Wirkung darin durch geeignete Mittel zu erhöhen. In der Tat weisen die alten Nachrichten darauf hin, daß man ursprünglich natürliche und künstliche Spalten benutzte und nach ihrer Ladung mit Holzpflöcken verkeilte. Die Herstellung von Bohrlöchern wurde erst einige Zeit später erdacht.

Es scheint zweifellos, daß Caspar Weindl der Erfinder der Sprengarbeit war, und am 8. Februar 1627 im Oberbiberstollen von Schemnitz in Ungarn die erste bekannte Sprengung vollführte. Ich habe das betreffende Protokoll im Schemnitzer Berggerichtsbuche, Jahrgang 1627, Seite 37, durch die Güte des Herrn Ministerialrates Anton v. Péch gesehen, und lasse die Abschrift hier folgen:

„Adi 8. Februari, dits 1627 Jars, hat die Gancz Löblich Gewerkschafft beim hauptperkhwerch Ober Piberstolln, Ihr kai: Mai: perggericht zur Schembnitz zur Einfart wegen des Casper Weindlsz Sprengwerch solches in Augenschein zunemen, ob es dem Gezimerwerch durch dasz schiessen schedlich sein mechte, in beratschlagung zu ziehen begrueszt, Über solchem eingenomenen Augenschein, vnd in Gegenwart der Ambtleut, Sowol des Perggerichts, beschehenen Schusz hat sichs befunden, dasz dieses Sprengwerch wol fürzunemen sei, vnd nichts schedlichs causirn werde, ob zu Zeitten gleich ein Rauch entstehet, vergeet er doch in ainer Viertl Stundt, vnd ist den hewern ohne schaden, nimbt auch viel böses Wetter mit sich wegkh, Aber offt zu schiessen, würde es nit thuen, denn es würde die anderen khüren im Arzthauen — vnd Geföl, wenn Sie offt sollen stilhalten, verhintern, Aber für Rahtsamb wär, die weillen im Danielschlag schöne Anbrüch vorhanden, die aber Zimblich fesst, doch keine heüer die man zuelegen mechte vorhanden sein, daselbst: So wol in den Schächten — vnnd Stolwenten auf der Soolen, liesz sich dasz Sprengwerch gar wol an."

„Weiter ist damallan Caspar Sprenger [1]) befragt worden, ob er diese Örtter im Danielschlag wollte zu Lehenschafft annemben, Weil das ainczige Ortt im tieffisten, den Vncosten mit dem Sprengen nicht er-

---

[1]) Weindl behielt in der Folge den Beinamen Sprenger.

tragen würde, hierüber meldt solcher, wenn man Ime 40 oder 50 guette Heuer gibt, So traue er Ihme diese Örter gar wol mit der Herren Gewerckhen guetten Nuczen zu Lehenschafft anzunemben."

„Auf solch sein erpieten wird Ime Caspar darauf geantwort":

„Weil im Tieffisten viel Örtter aus Mangel Heier feiern müssen, vnnd dits Orts allein ein 40 Heier von Nöten, vnd sein doch keine vorhanden, ob man nit Mitl haben könne, Soviel Heier etwo von andern Ortten herzubringen."

„Darauf meldt Caspar, wann man den Uncossten, der darauf geen würde, nit ansehen, noch Sparen wolt, vnnd Ime ainen Paszbrieff von Ihr Kai: Mai: ausbringen vnd ertailen würde, trauet er Ime gar wol ausz Tyroll ain anzoll guetter Heier, zu Nottdurfft an solche Örtter als in das Tieffeste, Danielschlag, hinternkünsten, Schächten, Stolwant, an der Sol: vnnd andere Örtter zuezuweitten, vnd ins werkh zusetzen, herein zu bringen."

„Souil thuet das kaiserlich Perggericht ain Gancze Löbliche Gewerckhschaft berichten, welche ohne maszgeben auf solcher verern beratschlagungen des Caspar Sprengers Zuesagen: Vnnd erpietten ins Werckh zuseczen wissen werden, Datum Schembnicz den 16 Februari A. 1627. Geörg Putscher Pergkmaister, Caspar Pistorius, Chri: Spilberger Pergkgerichtsschreiber."

Caspar Weindl war aus Tirol nach Schemnitz gekommen, und offenbar früher auf den in Tirol befindlichen Bergwerken des Grafen Montecuccoli, damaligen Oberstkammergrafen von Schemnitz, in Arbeit gestanden. Ob Weindl schon in Tirol die Sprengarbeit erfand, und vielleicht deshalb nach Schemnitz berufen wurde, ist eine Frage, zu deren Beantwortung sich bisher keine Quellen fanden.

Von Schemnitz aus wurde die Sprengarbeit nach Böhmen und dem Harze eingeführt. Rößlers „Hellpolirter Berg-Bau-Spiegel" (1700) führt an: „Das Schiessen ist vormals an. 1627 aus Ungarn in Deutschland hereinkommen/ uffn Grösslass (das heutige Graslitz)/ sodann nach dem Harzgebirge gebracht worden/ von welchen Orten es sich allenthalben ausgebreitet hat."

Diese Ausbreitung hat jedoch nicht so rasch stattgefunden, als man annehmen sollte. v. Born führt an, daß er in Dilln bei Schemnitz große Bohrlöcher mit der eingehauenen Jahreszahl 1637 fand. Erst 1632 führte man nach Calvör die Sprengarbeit in Clausthal ein, 1645 nach Hoppe in Freiberg, 1670 durch deutsche Bergleute in England, 1724 in Schweden, und im Salzbergwerke von Aussee sogar erst 1768. Noch 1670 konnte Eduard Brown, ein englischer Arzt, welcher die meisten deutschen und österreichischen Bergwerke besuchte und beschrieb, von Herrngrund bei Neusohl (Ungarn) erstaunt berichten: „Und wiesen sie mir einen Ort/ allwo gleichwohl das Gesteine so hart war/ dass es durch keines von ihren Werkzeugen konte gewonnen werden:/ sie hatten aber gleichwohl endlich Raht gefunden/ vermittelst des Büchsen Pulvers/ damit sie gewisse lange runde

1*

Löcher in den Felsen dicht angefüllet/ und denselben also gesprenget hatten [1])."

Als man zur Herstellung von Bohrlöchern überging, da machte man dieselben mit Kronenbohrern und recht groß, bis zu 70 mm Weite [2]), und verkeilte sie mit einem hölzernen Pflocke, dem Schießpflocke. 1683 wurde (durch Henning Hutmann) eine Art Maschinenbohrung, 1685 der Lettenbesatz, 1686 die Schießröhrchen, 1689 Patronen aus Papier statt, wie bis dahin, aus Leder, 1717 engere Bohrlöcher, 1749 der Meißelbohrer, 1767 (in Zinnwald) das Schießen aus dem Ganzen, 1790 (durch Alexander v. Humboldt) das Hohlladen, 1823 (durch Harris) die elektrische Zündung [3]), 1831 (durch Bickford) die Sicherheitszündschnur, und 1854 (durch Brunton und Bartlett) die Bohrung mit gepreßter Luft angewendet.

Bis zum Jahre 1854, also 227 Jahre lang, blieb das Schießpulver unbestrittener Beherrscher der Sprengarbeit, und die kurze Zeit von 50 Jahren hat genügt, um es nahezu aus dem Felde zu schlagen.

Nach ähnlichen Versuchen von Braconnot (1833), Pelouze und Dumas entdeckten fast gleichzeitig Schönbein in Basel und Böttger in Frankfurt im Jahre 1846 die Schießbaumwolle. Erst im Jahre 1853 wurde zu Hirtenberg in Österreich von dem späteren Feldmarschall-Leutnant Baron v. Lenck eine Schießwollfabrik errichtet, 1865 aber infolge wiederholter, den damaligen unvollkommenen Erzeugungsweisen zuzuschreibenden Explosionen aufgelassen. Der englische Kriegschemiker Sir Frederick A. Abel verfolgte jedoch die einmal gegebene Idee, und mit Hilfe eines von John Tonkin jun. aus Poole im Jahre 1862 erfundenen Reinigungsverfahrens verbesserte er die Erzeugung in solchem Maße, daß Schießwolle seitdem mit Sicherheit und Erfolg hergestellt wird.

Im Jahre 1846 entdeckte Ascanio Sobrero, Professor der Chemie in Turin, das Nitroglycerin, doch kam es lange nicht in die Praxis, wurde vielmehr als Glonoin in höchst verdünnten alkoholischen Lösungen als Mittel gegen Kopfschmerz und angina pectoris benutzt, und dient hierzu auch heute noch in Deutschland, England, der Schweiz und Amerika.

Dem schwedischen Ingenieur Alfred Nobel war es vorbehalten, das Nitroglycerin neu aufzunehmen. Nach vielfältigen Versuchen, die 1863 begannen, gelang es ihm, das Nitroglycerin durch kleine Pulverladungen zur Explosion zu bringen. Allein als Flüssigkeit war es ebenso schwierig zu handhaben, wie seine

---

[1]) „And one place they shewed me where there had been a pernicious Damp, and yet the Rock so hard, that it could not be broken by their Instruments; but the descent was all made by the meáns of Gun-pouder rammed into long round holes in the Rock, and so blown up." A brief account of some travels in Hungaria etc. By Edward Brown M. D. London, Benj. Tooke 1673. Die obige Übersetzung ist in Bruckmanns Werke enthalten.

[2]) Vortrag von Prof. Franz Rziha am 5. Januar 1878 im österreichischen Ingenieur- und Architektenverein, siehe auch dessen Tunnelbaukunst.

[3]) Tatsächlich hat schon im Jahre 1804 Major Baron Chastel in Gegenwart Ihrer Majestäten in Konowitz in Österreich eine Reihe von militärischen Minen durch „Reibungselektrizität" abgefeuert, wobei er seine Leitungsdrähte durch den zwischenliegenden Fluß führte (Blasek, Geschichte der k. k. Geniewaffe).

Verwendung im Bergbau große Übelstände im Gefolge hatte. Umständliche Versuche mit den verschiedensten porösen Körpern führten Nobel endlich im Jahre 1866 dazu, das Nitroglycerin mit Kieselgur zu vermengen, und das so erhaltene plastische Produkt unter dem Namen Dynamit im Jahre 1867 in den Verkehr zu bringen. Im Jahre 1867 patentierte er auch die Verwendung von Knallquecksilber-Zündhütchen zur Einleitung der Explosion, und so waren alle Momente gegeben, um das Dynamit jene Rolle spielen zu lassen, welche es seither zu behaupten wußte.

Vom Jahre 1867 bis zum Jahre 1878 wurden von anderen Personen die verschiedensten porösen Stoffe versucht, um die Nobelschen Patente zu umgehen. Erst im Jahre 1878 war es wieder Alfred Nobel, welcher die eigentümliche Fähigkeit einer gewissen Gattung von Schießbaumwolle erkannte, daß dieselbe unter besonderen Bedingungen selbst das Fünfzigfache ihres Gewichtes an Nitroglycerin zu einer zähen, hornartig-gallertigen Masse binden könne. Nobel nannte dieses Produkt die Sprenggelatine, welche gegenwärtig einer der kräftigsten Explosivstoffe der Praxis ist, und durch geeignete Zusätze machte er daraus die Gelatinedynamite, heute die verbreitetsten und bewährtesten Sprengstoffe.

Die große Anzahl von Explosionen in schlagwetterführenden Kohlengruben veranlaßte verschiedene Regierungen, im Jahre 1885 die Verwendung von Explosivstoffen eingehender zu prüfen, und obzwar zu Anfang so manche falsche Schlüsse gezogen wurden, so hat man doch später solche Explosivstoffe angeben können, welche einen genügenden Grad von Sicherheit bieten. Der Ausgangspunkt für dieselben waren die von Prof. Dr. Hermann Sprengel, F. R. S., im Jahre 1871 erfundenen Explosivstoffe; die ersten von Herrn Margraf in der Neunkirchener Versuchsstrecke als sicher erprobten Sprengstoffe waren: Hellhoffit, eine sonst wertlose Mischung von Salpetersäure und Teer, und Carbonit, welches in bezug auf Sicherheit bisher noch von keinem der zahlreichen Sicherheitssprengstoffe übertroffen wurde, die seitdem auf den Markt kamen.

Die erste größere Sprengarbeit war der Malpastunnel beim Kanal von Languedoc im Jahre 1679, und 1696 wurde der erste Weg am Berglüner Steine im Abulapasse durch Sprengung hergestellt. Von eigentlichen Straßenbauten begannen die über den Semmering 1728, über den Brenner 1772, über den Arlberg 1797 und über den Simplon 1801. Während die großen Erbstollen in Schemnitz und Bleiberg über ein Jahrhundert lang mit Pulver mühsam vorwärts kamen, wurde mit Dynamit und Maschinenbohrung in 10 Jahren mehr geleistet, als in der ganzen vorhergegangenen Zeit. Die großen Tunnels vom Mont-Cenis, Gotthard, Arlberg und Simplon, die zahllosen Eisenbahnen, welche in wenigen Minuten entlegene Städte verbinden, die außerordentliche Entwickelung der Eisen- und Kohlenwerke, und durch sie der Maschinen, Bauten, und der Industrie überhaupt, sind, man möchte sagen, erst dadurch ermöglicht worden, daß die Sprengarbeit einen so ungeheuren Aufschwung nahm, und zweifellos hat sie an den großen Fortschritten der Zivilisation im abgelaufenen Jahrhundert einen ganz bedeutenden Anteil.

Sprengmittel.

Explosivstoffe sind nach der Erklärung Trauzls solche Körper, welche in äußerst kurzer Zeit in kleinem Raume sehr große Mengen von Wärme und Gas entwickeln, und dadurch ungeheure Drücke auf die sie umgebenden Körper ausüben, also durch die Ausdehnungskraft der hoch erhitzten Gase bedeutende Arbeit leisten können.

Man kennt eine große Anzahl von Verbindungen, welche explosiv wirken. Im allgemeinen ist jede Mischung von Sauerstoff und Kohlenstoff oder Kohlenstoffverbindungen explosiv, z. B. schlagende Wetter, Müllereistaub, Kohlenstaub usw.; ferner Knallgas, fast alle Chlorsäuren, Chlorstickstoff, Jodstickstoff, eine große Anzahl von Stickstoff- und anderen Verbindungen. Für die Zwecke der Praxis ist jedoch nur ein kleiner Teil der Explosivstoffe verwendbar, und ein Bruchteil von diesen als Sprengmittel.

Man versteht unter Sprengmittel solche Explosivstoffe, deren Wirkung, zum Unterschiede der treibenden von Schießmitteln, eine mehr zerstörende ist. Es können wohl auch die meisten Schießmittel als Sprengmittel dienen, allein ihre Herstellung ist viel zu teuer, und ihre Wirkung als Sprengmittel zu gering, als daß sie Ersatz bieten könnten.

Praktisch verwendbar sind nur solche Sprengmittel, welche in genügendem Maße beständig sind, durch mechanische Einwirkung nur schwer detonieren, in eine handsame Form gebracht sind, und deren Verwendung nicht von schädlichem Einflusse auf die Gesundheit ist; selbstverständlich muß damit genügende Wirkung verbunden sein. Eine Prüfung der so vielfältig neu auftauchenden Sprengmittel von diesen Gesichtspunkten aus wird dem Erzeuger wie dem Verbraucher manche Täuschung, Geld- und Zeitverlust ersparen.

Nach einer von General Heß gegebenen Anregung teilt man allgemein die Explosivstoffe in zwei Klassen:

1. Direkt explodierbare Stoffe (englisch: low explosives).
2. Indirekt explodierbare Stoffe (englisch: high explosives).

Zur ersteren gehören alle jene, welche durch unmittelbare Einwirkung, z. B. durch Entzündung, zur Kraftentfaltung gebracht werden; zur zweiten jene, welche hierzu eines Zwischenmittels, z. B. eines Knallquecksilber-Zündhütchens, bedürfen. Herr Bichel hat vorgeschlagen, sie in drei Klassen einzuteilen, und zwar: a) solche, welche durch Feuer allein entzündet werden können; b) solche, welche ein Zünd-

hütchen zur Initiierung der Detonation benötigen; c) solche, welche durch Feuer direkt zum Explodieren gebracht werden können (wie Knallquecksilber). Für praktische Zwecke ist jedoch Heß' Einteilung bequemer.

1. Direkt explodierbare Stoffe.

a) Das Sprengpulver.

Seit seiner Erfindung bis vor ganz kurzer Zeit hat das Schießpulver stets die gleiche Zusammensetzung gehabt, nämlich Salpeter, Schwefel und Holzkohle. Vor etwa 20 Jahren hat die Pulverfabrik Rottweil-Hamburg das sogenannte braune Pulver für artilleristische Zwecke in Verkehr gebracht, welches Kohle von Roggenstroh enthielt, dessen Verwendung aber aufgehört hat, und auch W. Güttler in Reichenstein verwandte eine besondere Kohlengattung.

Das Gewichtsverhältnis der Bestandteile des Schießpulvers war gleichfalls immer nahezu dasselbe. Gutes Gewehrpulver besteht aus ungefähr 75 Tln. Kalisalpeter, 10 Tln. Schwefel und 15 Tln. Kohle, jedoch hat man in verschiedenen Staaten verschiedene Mischungsverhältnisse, in Deutschland z. B. 70 Tle. Salpeter, 14 Tle. Schwefel und 16 Tle. Kohle. Bis zu einem gewissen Grade wird nämlich die Brisanz (Geschwindigkeit der Explosion) durch vermehrten Salpetergehalt (größere Sauerstoffzufuhr) erhöht.

Vom Sprengpulver wird wohl hohe Brisanz, aber auch Entwickelung großer Gasmengen verlangt, deshalb sind dessen Bestandteile geändert; nur in England und Deutschland hat es die gleiche Zusammensetzung wie das Schießpulver, und man bewirkt eine langsamere Verbrennung durch minder sorgfältige Herstellung und größere Körnung.

Die verschiedenen Länder geben dem Sprengpulver folgende Zusammensetzung:

Bestandteile	Deutschland	Österr.-Ungarn	Frankreich	England	Rußland	Italien
Salpeter	70	60,19	72	75	66,6	70
Schwefel	14	18,45	13	10	16,7	18
Kohle	16	21,36	15	15	16,7	12

Innerhalb dieser Grenzen schwankt fast überall die Zusammensetzung. Man hat jetzt nämlich, infolge der großen Konkurrenz der Dynamite, trachten müssen, das Sprengpulver möglichst brisant zu machen, und so wird z. B. besonders starkes Sprengpulver aus 76 Tln. Salpeter, 9 Tln. Schwefel und 15 Tln. Kohle hergestellt. Dieses Verhältnis darf wohl als Grenze angesehen werden, bis zu welcher eine Vermehrung der Wirkung von Sprengpulver noch zu erzielen ist; darüber hinaus werden einzelne Eigenschaften nur auf Kosten der anderen erhöht.

Bei der Erzeugung von Pulver muß, wie bei allen Sprengmitteln, auf größte Reinheit der Bestandteile und auf sorgfältige Herstellung gesehen werden. Man verwendet also nur hochgereinigten Kalisalpeter, welcher nicht einmal

$^1/_{200}$ Proz. Chlor enthalten darf, reinen Schwefel, der frei von schwefliger Säure und Arsen ist, und Kohle von besonders gewählten und bei bestimmten Temperaturen verkohlten Hölzern, gewöhnlich Faulbaum-, Hundskirschen-, Weiden- und Erlenholz, aber auch Lindenholz, Hanfstengel usw. Zu Sprengpulver nimmt man sogenannte Schwarzkohle, nämlich bei etwa 350° Wärme in besonderen Zylindern verkohltes Holz.

Diese Bestandteile werden sorgfältig gekleint und bei Zusatz von Wasser vermengt, entweder, indem man jeden für sich kleint und dann alle mengt, oder indem man Schwefel und Kohle oder Salpeter und Schwefel zusammen kleint, oder indem man alles auf einmal kleint und mengt und dann besonders verdichtet.

Man verwandte früher zu diesen Arbeiten hauptsächlich Stampfwerke mit Stempeln und Trögen aus Metall oder Holz, wobei die Stampfdauer zwischen 24 und 60 Stunden schwankte; in der Schweiz bediente man sich der ähnlich wirkenden Schwanzhämmer. Am meisten bedient man sich jetzt der Kollergänge, wobei die Dauer der Arbeit auf 6 bis 10 Stunden vermindert ist. Für Gewehrpulver werden auch noch drehbare Tonnen oder Trommeln verwendet — für das binäre Pulver (Schwefel und Kohle) aus Eisen, für das ternäre aus Holz mit Lederfütterung —, in welchen Kugeln aus Metall oder hartem Holz durch Drehung der Tonne die Kleinung und Mengung bewerkstelligen.

Fig. 1.

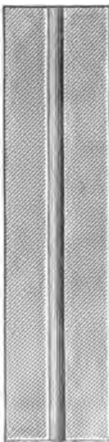


Fig. 2.



Die so erhaltene Masse wird durch Schrauben-, Walzen- oder hydraulische Pressen zu dichten Kuchen geformt. Diese zerschlägt man sodann mit hölzernen Hämmern und bringt die Stücke in eine Körnmaschine. Bei der Lefebvreschen Körnmaschine befindet sich eine Reihe von Sieben in exzentrischer Drehung, und eine durch Bleieinlage beschwerte, mühlsteinartig gehauene, hölzerne Scheibe körnt dabei das Pulver, welches in den Sieben sich sondert. Die Congrèvesche Körnmaschine besteht aus einer Reihe übereinander gelagerter, gezahnter und geriffelter Walzen, welche unter sich Siebe angeordnet haben.

Nach erfolgtem Körnen wird das Pulver etwas getrocknet, sodann — meist in Sichtezylindern — vom Staube befreit, in hölzernen, sich drehenden Fässern durch Selbstreibung geglättet, hernach in geeigneten Trockenstuben langsam, aber vollständig von der Feuchtigkeit befreit, und schließlich nochmals abgesiebt. Das Trocknen muß deshalb langsam erfolgen, weil durch plötzliche Entwickelung der Wasserdämpfe der Zusammenhang der Körner gelockert, und diese dann, neben anderen Übelständen, auch empfänglicher für die Feuchtigkeit der äußeren Luft bei der Aufbewahrung werden.

In neuerer Zeit kommt das gepreßte (komprimierte) Pulver immer mehr in Gebrauch. Es wird nämlich das fertige, jedoch noch etwa 2 bis 3 Proz. Feuchtigkeit enthaltende Pulver in geeigneten, meist hydraulischen Formpressen zu

festen Zylindern (Fig. 1) gepreßt, welche gewöhnlich einen schwach konischen Zündkanal zur Aufnahme der Zündschnur erhalten. In England gibt man manchmal dem Kanale eine so stark konische Form (Fig. 2), daß ein umgebogenes Ende der Zündschnur sich darin festklemmt, und die Patronen dann, auf die Zündschnur aufgereiht, in die Bohrlöcher auf einmal eingeschoben werden können.

b) Verschiedene Pulvermischungen.

Pulvermischungen mit teilweise geänderten Bestandteilen sind hauptsächlich in Österreich-Ungarn verbreitet, wo das Pulvermonopol mit seinen hohen Preisen zu solchen Ersatzmitteln verlockt. Sie unterscheiden sich vom Schwarzpulver gewöhnlich dadurch, daß die Holzkohle durch eine andere Kohle oder durch Cellulose, und der Kalisalpeter durch einen anderen, gewöhnlich Natronsalpeter, ersetzt ist. Fast immer finden sich in denselben wenige Prozente von Stoffen, welche den Vorwand für die Umgehung des Pulvermonopoles bieten, meist aber die Wirkung noch mehr verschlechtern, und oft so unsinnig sind, daß derlei Pulver berechtigte Heiterkeit hervorrufen. Im allgemeinen — mit sehr wenigen Ausnahmen — werden solche Pulvermischungen auch ohne besondere Sorgfalt hergestellt, und ihre Verwendung ist meist nur eine Folge örtlicher Vorteile.

Im nachstehenden sei die Zusammensetzung einiger solcher, in Gebrauch stehender Pulvermischungen angegeben.

Diorrexin. 42,78 Tle. Kalisalpeter, 23,16 Tle. Natronsalpeter, 13,40 Tle. Schwefel, 7,49 Tle. Holzkohle, 10,97 Tle. Buchensägespäne, 1,65 Tle. Pikrinsäure, 0,55 Tle. Wasser.

Haloxylin. 75 Tle. Kalisalpeter oder Natronsalpeter, 15 Tle. Sägespäne, $8^1/_3$ Tle. Holzkohle, $1^2/_3$ Tle. rotes Blutlaugensalz. Haloxylin ist bis jetzt das einzige Pulvergemisch ohne Schwefel.

Petralit besteht aus Kalisalpeter, Schwefel, Holzmehl und Cokepulver.

Janit. 70 Tle. Kalisalpeter, 12 Tle. Schwefel, 18 Tle. Lignitkohle, 0,4 Tle. Pikrinsäure, 0,4 Tle. chlorsaures Kali, 0,3 Tle. geglühte Soda.

Carboazotine. (Wurde früher in England unter dem Namen Safety blasting powder erzeugt.) 64 Tle. Kalisalpeter, 12 Tle. Schwefel, 7 Tle. Ruß, 17 Tle. Gerberlohe oder Sägemehl, 1 bis 5 Tle. Eisenvitriol.

Azotin besteht aus Natronsalpeter, Schwefel, Kohle und Petroleumrückständen.

Amidogène. 73 Tle. Kalisalpeter, 8 Tle. Holzkohle, 8 Tle. Kleie (oder Stärke), 10 Tle. Schwefel, 1 Tl. Bittersalz.

Man ist auch mehrfach bestrebt, durch andere Verfahrungsweisen billiger zu arbeiten, so z. B. beim Carboazotine, Amidogène usw., indem man nach einem schon den Tataren bekannten Vorgange einen Teil der Bestandteile, soweit möglich, in Wasser löst, die anderen zumischt und abdampft. Dabei entsteht aber niemals eine innige Mischung.

Als Pulvermischungen sind ferner jene anzusehen, bei welchen der Salpeter ganz oder teilweise durch chlorsaures Kali ersetzt ist. Sie tauchen immer wieder auf, weil chlorsaures Kali wirksamer ist als Salpeter, aber wegen ihrer teilweise

hohen Gefährlichkeit konnten sie sich schwer behaupten. In neuerer Zeit hat man derselben durch Zusatz einer kleinen Menge von Öl, Paraffin und anderen fettigen Stoffen abgeholfen. Wenn ein solcher Zusatz wirksam ist, so verhindert er die Explosion durch bloße Entzündung, und deshalb gehören solche Explosivstoffe zu den „indirekt explodierbaren" Stoffen.

Chloratpulver sind:

Himlypulver. 45 Tle. chlorsaures Kali, 35 Tle. Kalisalpeter, 20 Tle. Steinkohlenpech, letzteres in Benzin gelöst, das nach dem Vermischen abgedunstet wird.

Poudre des mineurs (Bergmannspulver). 50 Tle. chlorsaures Kali, 5 Tle. Braunstein, 45 Tle. Kleie.

Kometpulver. 75 Tle. chlorsaures Kali, 25 Tle. Harz.

Die hier angeführten Pulver bilden nur einen kleinen Teil der überaus zahlreichen, alle Augenblicke durch geschickte Reklame die Welt bewegenden Erfindungen.

2. Indirekt explodierbare Stoffe.

Es kann eigentlich jeder direkt explodierbare Stoff auch indirekt detoniert werden, und in den meisten Fällen wird die Wirkung dadurch weit größer sein. Man begreift jedoch unter dem Namen indirekt explodierbare Stoffe nur solche, welche eines Zwischenmittels unbedingt bedürfen, um ihre Kraft zu entfalten.

Bisher kennt man meist solche indirekt explodierbare Stoffe, welche durch Einwirkung von Salpetersäure auf Kohlenstoffverbindungen (durch die sogenannte Nitrierung) entstanden sind; man nennt sie gewöhnlich Nitropräparate. Sie bilden eigentliche Explosivstoffe nur dann, wenn die Salpetersäure in der höchsten Konzentration angewendet wird; minder konzentrierte Salpetersäure liefert minderwertige Salpetersäureäther, von welchen hauptsächlich die Kollodiumwolle (Dinitrocellulose) praktische Verwendung findet.

a) Schießbaumwolle.

Durch Behandlung mit Natronlauge und durch Krempeln von Fett und sonstigen Bestandteilen befreiter Spinnereiabfall wird getrocknet und in ein fortwährend gekühltes Bad von 1 Tl. Salpetersäure und 3 Tln. Schwefelsäure eingetaucht, welches das Dreißig- bis Fünfzigfache des Gewichtes der Baumwolle beträgt. Die Schwefelsäure hat bei allen Nitrierungen nur den Zweck, das im Verlaufe drr Arbeit sich bildende Wasser aufzunehmen und so die Salpetersäure in ihrer Konzentration zu erhalten. Nach vollendeter Nitrierung wird die Baumwolle in Schleudermaschinen von der Säure befreit, wiederholt mit kaltem und warmem Wasser, unter Zusatz von Soda, ausgewaschen und ausgeschleudert, hernach auf Holländern zerkleinert, wieder gewaschen und geschleudert, um endlich, nachdem sie ganz säurefrei ist, in die zur Verwendung geeignete Form gebracht zu werden. Je nach dem Zwecke derselben bleibt sie lose, oder wird in feuchtem Zustande durch hydraulische Pressen zu Patronen oder anderen Formen verdichtet. Für die Sprengarbeit werden Patronen mit Zündkanal, ähnlich wie

von Pulver, hergestellt. Derlei sogenannte Bergwerkspatronen sind gewöhnlich mit Nitraten versetzt. So enthält z. B. das Tonite der Cotton powder Company, und auch die Bergwerkspatronen von Düren 52,5 Tle. Schießbaumwolle und 47,5 Tle. Barytsalpeter, das Potentite von der ehemaligen Potentite Company Schießbaumwolle und Kalisalpeter usw.

Ähnlich wie die Schießbaumwolle wird auch die Kollodiumwolle erzeugt, welche zur Sprenggelatine und den Gelatinedynamiten Verwendung findet, nur ist dabei die Salpetersäure von geringerer Konzentration.

b) Nitroglycerin und Dynamite.

Nitroglycerin entsteht durch Einwirkung von Salpetersäure auf Glycerin. Seine Herstellung bildet heute den Gegenstand einer ausgedehnten Großindustrie.

Salpetersäure und Glycerin müssen frei von fremden Stoffen sein, und die größte Reinheit der Bestandteile ist hier, wie überall, Hauptbedingung, wenn das Nitroglycerin beständig sein und keine schlechten Gase entwickeln soll, von der Sicherheit bei der Erzeugung gar nicht zu reden.

In besonderen großen Apparaten aus Blei mit Kühl- und Rührvorrichtungen befindet sich das Gemenge von Salpetersäure und Schwefelsäure, dem das Glycerin allmählich zufließt. Thermometer lassen die Temperatur, Schaugläser den Verlauf der Arbeit beobachten, und mehrfache andere Vorrichtungen dienen zu deren Überwachung und Regelung.

Das gebildete Nitroglycerin wird in Scheidevorrichtungen von den Säuren getrennt und dann einer Reihe von Waschungen und Filtrierungen so lange unterworfen, bis es vollkommen neutral ist. Die zurückbleibenden Säuren werden in besonderen Nachscheidungsgefäßen von den letzten Spuren Nitroglycerin befreit, und sodann in Denitrifikatoren zur Wiedergewinnung der Salpeter- und Schwefelsäure zerlegt.

In einigen amerikanischen Urwaldfabriken wird das Nitroglycerin noch in einer Anzahl kleiner Töpfe durch mechanische Rührung hergestellt, sodann der ganze Inhalt der Töpfe in Wasser geworfen, wo sich das Nitroglycerin absetzt, während die Säuren verloren gehen.

Vor Erfindung des Dynamits wurde flüssiges Nitroglycerin in den Gruben verwendet, und zu diesem Zwecke in Blechflaschen versandt, jedoch mußte dessen unbequeme und gefährliche Behandlung bald Abhilfe heischen. Mowbray in North-Adams (Amerika) hat noch lange nachher große Mengen von Nitroglycerin in gefrorenem Zustande versandt, die große Handlichkeit und Zuverlässigkeit des Dynamits haben aber das ledige Nitroglycerin doch endlich verdrängen müssen und jetzt wird es nur noch in Amerika zur Erhöhung der Ausflußgeschwindigkeit von Petroleumbohrlöchern durch „Torpedieren" verwendet.

Indem das Nitroglycerin durch einen geeigneten saugfähigen Körper aufgenommen und so in eine handliche Form gebracht wird, entsteht ein Stoff, welchem Nobel den Namen Dynamit gegeben hat. Hauptsächlich wurde Kieselgur als Saugstoff verwendet. Es ist dies eine besonders voluminöse, aus mikroskopisch kleinen Schalen von Diatomeen bestehende Kieselerde, welche in der

Lüneburger Heide, im Siegener Kreise, in Schottland, Italien u. a. a. O. gefunden wird. In einer anderen Fabrik nahm man später Kalkgur, ein in Tropfsteinhöhlen und alten Bachläufen gefundenes Kalksinter, woraus das weiße Dynamit entstand. Die Erzeugung von Kieselgurdynamit ist jetzt in allen Ländern so gut wie eingestellt, außer in Großbritannien, wo noch kleine Mengen, hauptsächlich für den Export, hergestellt werden. Allmählich bestrebte man sich, geeignete poröse Körper organischer Natur zu finden, wie Cellulose, Holzmodermehl usw., welche man mit verschiedenen Salpetern versetzte, weil man die Ansicht gewann, daß auch der Saugstoff explosiv oder doch verbrennlich sein müsse, wenn man das volle Gewicht der Ladung ausnutzen wolle. Dadurch wurde jedoch gewöhnlich die Saugfähigkeit herabgemindert und eine größere Kraft selten erzielt, weil einige Prozente mehr an Nitroglycerin der häufig auch problematisch gebliebenen Wirkung des Saugstoffs wohl das Gleichgewicht zu halten imstande sind. Trotzdem werden solche Dynamite mit teilweise organischem Saugstoffe viel in Amerika verwendet, weil man dadurch für weicheres Gestein, Steinbrüche u. dgl. schwächere Explosivstoffe zur Verfügung hat.

Die Zusammensetzung der gebräuchlichsten Dynamite ist folgende:

Kieselgurdynamit (in Amerika Giant-powder, in England Dynamit, in Deutschland, Italien usw. Dynamit Nr. I genannt). 75 Tle. Nitroglycerin, 25 Tle. Kieselgur, 0,5 Tle. Soda.

„40 proz. Dynamit" (in Amerika am meisten verwendet). 40 Tle. Nitroglycerin, 47,25 Tle. Natronsalpeter, 11,75 Tle. Holzmehl, 1 Tl. kohlensaurer Kalk.

Rhexit. 64 Tle. Nitroglycerin, 11 Tle. Holzmoder, 7 Tle. Holzmehl, 18 Tle. Natronsalpeter.

Carbonit. 25 Tle. Nitroglycerin, 40 Tle. Holzmehl, 30,5 Tle. Kalisalpeter, 4 Tle. Barytsalpeter, 0,5 Tle. kohlensaures Natron.

Hercules powder (Amerika). 40 Tle. Nitroglycerin, 45 Tle. Natron salpeter, 11 Tle. Holzstoff, 1 Tl. Kochsalz, 1 Tl. kohlensaure Magnesia, 2 Tle. Feuchtigkeit.

Vulcan powder (Amerika). 30 Tle. Nitroglycerin, 52,5 Tle. Natronsalpeter, 7 Tle. Schwefel, 10,5 Tle. Holzkohle.

Safety nitro powder (Amerika). 68,81 Tle. Nitroglycerin, 18,35 Tle. Natronsalpeter, 12,84 Tle. Holzstoff.

Judson Powder (Amerika). 5 Tle. Nitroglycerin, 64 Tle. Natronsalpeter, 16 Tle. Schwefel, 15 Tle. Kannelkohle.

Atlas powder (Amerika). 75 Tle. Nitroglycerin, 2 Tle. Natronsalpeter, 21 Tle. Holzfaser, 2 Tle. kohlensaure Magnesia.

Vigorit (Amerika). 30 Tle. Nitroglycerin, 49 Tle. chlorsaures Kali, 7 Tle. Kalisalpeter, 9 Tle. Holzstoff, 5 Tle. kohlensaure Magnesia, Feuchtigkeit usw.

Die einzelnen Bestandteile des Saugstoffs müssen sorgfältig von Feuchtigkeit und von chemisch oder mechanisch anhaftenden Verunreinigungen befreit, schließlich in den feinsten pulverförmigen Zustand gebracht und miteinander gut vermengt werden. Besonders die sogenannten „aktiven" (die verbrennlichen)

Saugstoffe müssen mit besonderer Sorgfalt behandelt werden, da sie, ebenso wie Pulver, hierdurch an Wert gewinnen. Zu obigen Zwecken wird die Kieselgur geglüht, zerquetscht und gesiebt, Holzstoff, Moder u. dgl. werden geröstet, manchmal vorher mit Natronlauge gewaschen, der Salpeter wird einer Trocknung unterworfen, und fein vermahlen usw. Die aktiven Saugstoffe werden in Trommeln, wie bei der Pulverfabrikation, gemengt und in geschlossenen Gefäßen aufbewahrt.

Die Vermengung der Saugstoffe mit dem Nitroglycerin erfolgt gewöhnlich von Hand in großen Trögen, worauf das Dynamit wiederholt durch Haar- oder Metallsiebe zu inniger Mischung gedrückt wird. Hierbei tritt eine Verminderung des Volumens der Saugstoffe ein, welche unter Umständen dazu führen kann, daß der Grad der Saugfähigkeit vermindert wird, d. h. daß das Nitroglycerin austritt und das Dynamit sich fettig anfühlt oder gar Öltropfen ausschwitzt.

Das Dynamit wird hierauf in Stempelpressen zu zylindrischen Würsten geformt, welche, in Pergament- oder Paraffinpapier eingewickelt, die bekannten Dynamitpatronen ergeben. Herkömmlicherweise werden etwa 10 cm lange Schlagpatronen und 2,5 cm lange Zündpatronen gemacht, dieselben im ungefähren Stückverhältnisse wie 3 zu 1, und im Gesamtgewichte von 2,5 kg in eine Pappschachtel gegeben, welche entweder mit wasserdichtem Papier umhüllt und verschnürt oder an den Rändern verklebt und in geschmolzenes Paraffin eingetaucht wird. Je zehn solcher Schachteln, zusammen also 25 kg (in Großbritannien und seinen Kolonien 50 lbs.), kommen in eine Kiste.

In der schönsten Weise ist die Frage des Saugstoffs bei der Sprenggelatine und den Gelatinedynamiten gelöst.

Die niedrigen Nitrationsstufen der Schießbaumwolle, die sogenannte Kollodiumwolle, haben nämlich die Eigenschaft, in Estern löslich zu sein; da nun auch Nitroglycerin ein Ester ist, so wird Kollodiumwolle auch von ihm gelöst. Diesem Umstande verdankt man den vollkommensten Saugstoff für Nitroglycerin u. dgl., welcher an und für sich fast ein Explosivstoff ist, aber auch die Eigenschaften des Dynamits wesentlich verändert. Ein halbes Prozent Kollodiumwolle genügt, um das Nitroglycerin in eine sulzige Masse zu verwandeln, und 8 Proz., wie sie zur Sprenggelatine genommen werden, machen daraus einen festen, zähen, hornartigen Körper, welcher mit dem Messer geschnitten und geformt werden kann, während die beste Kieselgur höchstens 80 Proz. Nitroglycerin mit Sicherheit aufnimmt.

Die verschiedenen Nitrationsstufen der Baumwolle unterscheiden sich voneinander durch ihren Stickstoffgehalt, welcher für die Wirkung nitrierter Körper maßgebend ist. Hexanitrocellulose, die Schießbaumwolle[1]), ist in Ätheralkohol nicht löslich, die übrigen sind es. Die Herstellung der Kollodiumwolle ist jetzt schon so vervollkommnet, daß sie fast nur aus löslicher Nitrocellulose besteht, also den besten Erfolg gewährt.

[1]) Man unterscheidet gewöhnlich nur sechs Nitrationsstufen: Mono-, Di-, Tri-, Tetra-, Penta- und Hexanitrocelluse; letztere ist dann die Schießbaumwolle. Neuere Untersuchungen haben jedoch die Ansicht des Verfassers bestätigt, daß es keine scharfe Grenzlinie zwischen niedrig und hoch nitrierter Cellulose gibt.

Das Nitroglycerin wird in besonderen Apparaten erwärmt, die sorgfältig getrocknete Kollodiumwolle beigefügt und, nachdem sie sich gelöst hat, tüchtig durchgearbeitet, bis die Gelatine die erforderliche Konsistenz erreicht hat. Sind, wie bei den Gelatinedynamiten, noch andere Körper zuzusetzen, so werden sie der Gelatine einverleibt und das Ganze mit Maschinen gehörig vermengt. Die Gelatine oder das Gelatinedynamit gelangen sodann in besonders konstruierte Pressen, wo sie gleichfalls zu Würsten geformt und dann wie sonst das Dynamit behandelt werden.

Un die Sprenggelatine gegen besonders heftige Stöße, wie z. B. das Einschlagen von Gewehrkugeln, unempfindlich zu machen, wird ihr für Kriegszwecke ein Zusatz von Kampfer gegeben. Die Unempfindlichkeit geht dann aber so weit, daß es besonderer Zündpatronen zu ihrer Detonation bedarf.

Die Sprenggelatine (Gomme explosive) besteht gewöhnlich aus 92 Proz. Nitroglycerin und 8 Proz. Kollodiumwolle. Manchmal sind einige Prozente der letzteren durch Salpeter ersetzt.

Das Gelatinedynamit Nr. 1, welches jetzt für Sprengarbeiten hauptsächlich verwendet wird, besteht in Deutschland aus

65 Proz. Gelatine aus . .	$6^2/_{13}$ Proz.	Nitroglycerin . . .	62,500 Proz.
	$3^{11}/_{13}$ „	Kollodiumwolle . .	2,500 „
35 „ Zumischpulver aus	75 „	Natronsalpeter . .	26,250 „
	24 „	Holzmehl	8,400 „
	1 „	Soda	0,350 „
			100,000 Proz.

In Großbritannien besteht Gelatinedynamit aus 80 Proz. Gelatine und 20 Proz. Zumischpulver. Das wie oben aus 65 Proz. Gelatine hergestellte Dynamit kommt unter dem Namen Gelignite in den Handel.

Alle Dynamitfabriken machen ferner auch schwächere Dynamite, weil die Verwendung solcher in vielen Fällen vorteilhaft ist. So bestehen:

Gelatinedynamit Nr. 2 aus 45 Proz. Gelatine und 55 Proz. Zumischpulver;

Dynamit Nr. 3 aus 14 Proz. Nitroglycerin und 86 Proz. Zumischpulver aus

70 Proz.	Natronsalpeter	60,2 Tle.
15 „	Schwefel	12,9 „
14 „	Holzkohle	12,04 „
1 „	Soda	0,86 „
		86,00 Tle.

Besonders kräftige Gelatinedynamite werden auch durch Zusatz von Ammoniaksalpeter hergestellt, z. B. Ammongelatine, Extradynamit usw.

Innerhalb des letzten Jahres hat die Castroper Sicherheits-Sprengstoff-fabrik ein Patent von Dr. Anton Mikolajczak zur Herstellung von Dinitroglycerin aufgenommen. Dieses wird durch Nitrieren von Glycerin hergestellt, enthält jedoch weniger Stickstoff. Es hat die besondere Eigenschaft, nicht zu rieren, und, mit Trinitroglycerin gemischt, auch dessen Gefrieren zu verhindern,

andererseits ist es etwas hygroskopisch und weniger kräftig, auch ist seine Herstellung teurer. Bisher wurden noch keine Explosivstoffe mit Dinitroglycerin in den Handel gebracht, aber die Castroper Fabrik beabsichtigt, solche mit etwa 35 Proz. Dinitroglycerin und einem Reste von Ammoniaksalpeter, unter Zusatz eines saugfähigen Kohlenstoffträgers, wie Holzmehl, herzustellen.

c) Sonstige Nitropräparate.

Von den vielen Kohlenstoffverbindungen, welche man schon der Nitrierung unterzogen hat, konnte bisher keine ein Produkt liefern, welches dem Nitroglycerin in allen seinen Eigenschaften gleichkäme. Das Glycerin ist vor allem fast chemisch rein herzustellen, kein fremder Bestandteil hindert die Nitrierung, denn der Einfluß solcher Nebenkörper auf das Ergebnis und die Güte des Nitropräparates ist größer, als man annimmt. Es ist ferner eine Flüssigkeit, welche ohne stürmische Einwirkung sich leicht und rasch mit den Säuren vermischt, so daß jedes kleinste Teilchen sofort mit ihnen in Verbindung gelangt und nitriert wird.

Es gibt nun allerdings auch andere Kohlenstoffverbindungen, welche flüssig und in genügender Reinheit darzustellen sind; aber entweder können die höheren Nitrate daraus nur schwer und mit großen Kosten erzeugt werden, oder diese sind zu leicht oder zu wenig explosiv. So ist z. B. käufliches Nitrobenzol nur ein Mononitrat und für sich allein fast nicht explosiv; die Herstellung von Di- und Trinitrobenzol ist aber umständlich und kostspielig, während damit hergestellte Explosivstoffe schädliche Schwaden ergeben können. Strohnitrocellulose enthält zu viele dem Stroh ursprünglich anhaftende Verunreinigungen; nitriertes Holz ist schon leichter rein herzustellen, erreicht aber nicht die Kraft der Schießbaumwolle, und alle enthalten weniger Stickstoff und mehr nicht nitrierte Stoffe als das Nitroglycerin, weil die Säuren sie nicht vollständig durchdringen können. Es wurden schon nitriert: Holz (Schultzes Pulver), Stroh (Paleïne), Papier (Pyropapier), Kleie (Lannoys Pulver), Stärke (Nitrostärke), Zucker (Nitrozucker), Mannit (Nitromannit), Milchzucker (Nitromilchzucker), Melasse (Nitromelasse), Molkenniederschlag (Sjöbergs Sprengstoff), Phenol (Pikrinsäure), Kresol (für militärische Zwecke), Benzol (Nitrobenzol), Toluol (Trinitrotoluol), Naphtalin (Nitronaphtalin), Kohle (durch Hellhoff) u. v. a. Bei diesen Produkten ist auch die Gasfrage sehr in Betracht zu ziehen. Die Nitrocellulosen enthalten nicht genügend Sauerstoff zu vollkommener Verbrennung und entwickeln deshalb viel Kohlenoxyd; Nitrobenzol liefert intensiv nach bitteren Mandeln riechende Gase, Pikrinsäure einen höchst bitter schmeckenden schwarzen Rauch usw. Viele von diesen wurden zur Herstellung von Sicherheitssprengstoffen herangezogen, worüber später noch mehr gesagt werden soll.

d) Sprengels flüssige (saure) Explosivstoffe.

Wie schon erwähnt, hat Sprengel im Jahre 1873 eine Reihe von Sprengmitteln angegeben, welche bedeutende Kraft entwickeln, aber gänzlich unhandlich sind, darum auch von ihm selbst als unpraktisch erklärt wurden. Trotzdem

kommt man immer wieder auf diese Idee zurück, weil die Herstellung so einfach ist und gar keine Vorkenntnisse erfordert. Deshalb bleibt aber die Erzeugung doch stets eine gefährliche Arbeit, und es wäre sehr unklug, die Unglücksfälle in den Gruben noch durch derlei Handhabungen zu vermehren, statt sie den Fabriken zu überlassen, wo geschulte Personen vorhanden sind, und der Schaden stets begrenzt ist.

e) Sicherheitssprengstoffe.

Infolge der Versuche, welche von besonderen Komitees der interessierten Regierungen angestellt wurden, hat man verschiedene Explosivstoffe vorgeschlagen und mit Erfolg eingeführt, welche in Gegenwart von Schlagwettern verhältnismäßig sicher sind. Die beigefügten Tabellen enthalten die in Deutschland, Österreich-Ungarn, Belgien, Frankreich und Großbritannien verwendeten Sicherheitssprengstoffe.

f) Sonstige Arten der Sprengung.

Sogleich bei der Entdeckung der flüssigen Kohlensäure hatte man daran gedacht, dieselbe für Sprengungen nutzbar zu machen. Abgesehen von der alten, durch Edison aufgewärmten Idee, Wasser im Bohrloche durch Elektrolyse zu zerlegen, dachte man wieder an das Sprengen mit gepreßter Luft und Flüssigkeiten unter hohem Drucke. Bei derlei Absichten möge man nicht vergessen, daß die Erzeugung hoher Pressungen in der Praxis eine Grenze hat, welche für die Sprengung mittelharten Gesteines und selbst sehr zäher Kohle nicht mehr ausreicht; es wird ferner die geringste Kluft, die beginnende Ablösung der Kohle schon den Druck aufheben. Was bei Sprengungen wesentlich ist, die plötzliche Entwickelung hohen Druckes, wird schon deshalb nicht möglich sein, weil ein Hauptfaktor, die Wärme, fehlt. Darum ist auch keine Aussicht, auf diesem Wege allgemein Brauchbares zu erhalten.

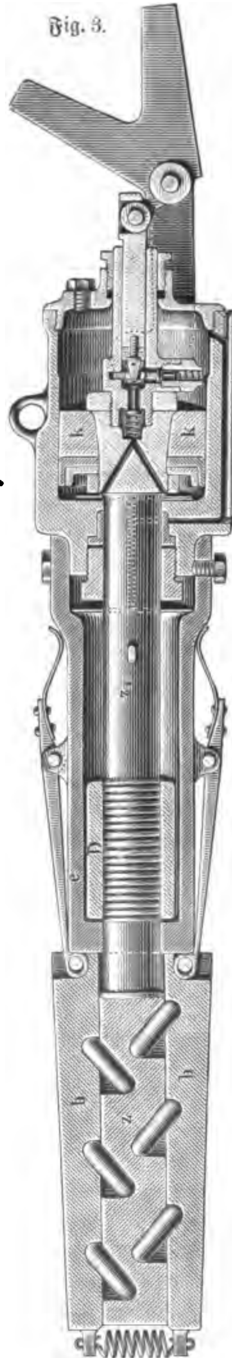
Eine Zeitlang war auch vom Sprengen mit Kalk die Rede. Patronen aus ungelöschtem Kalk wurden in große Bohrlöcher gesteckt, ein durchlöchertes Rohr eingeschoben, fest verdämmt, und durch das Rohr mit einer Pumpe Wasser eingespritzt. Indem der Kalk sich so löschte, verursachte sein „Treiben" eine Loslösung. Die geringe, damit zu entwickelnde Kraft ließ von vornherein nur an die Verwendung in der Kohle denken, allein dies war auch nur da möglich, wo die Kohle fest und nicht klüftig, die Strecken breit waren, und die entstandene Kalkmilch verschmierte die Kohlen so sehr, daß das bessere Ergebnis an Stückkohle durch ihr unvorteilhaftes äußeres Ansehen wieder aufgehoben wurde, welches die Kohle schwerer verkäuflich machte.

Ein ähnliches Verfahren wollte Dr. Kosmann benutzen, indem er in einer aus zwei Abteilungen bestehenden Flasche verdünnte Schwefelsäure und Zinkstaub unterbrachte, durch einen Eisenstab die Flasche zerschlug, und mit dem so gebildeten Wasserstoffgas genügend Druck zu erhalten glaubte.

Vor einiger Zeit machten Sprengversuche mit flüssiger Luft viel Aufsehen. Seitdem es, insbesondere durch die Bemühungen von Hampson in London

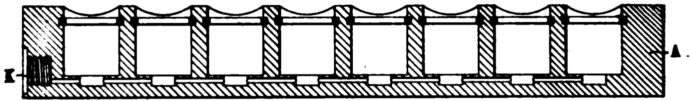
und Linde in München, möglich wurde, flüssige Luft billig herzustellen, bot sie große Anziehung als Sprengstoff. Für sich allein konnte sie nicht verwendet werden, sondern mußte mit einem Kohlenstoffträger, wie Teeröl, Paraffin oder Holzkohle, vermengt werden. Versuche im großen, welche einige Zeitlang im Simplontunnel angestellt wurden, zeigten jedoch, daß die Idee fast unausführbar war. Die Patronen konnten nicht geschlossen werden, weil die geringste Temperaturerhöhung sonst gefährliche Drucke hervorgerufen hätte; sie mußten sehr weit sein — 100 mm und mehr — sonst wurden sie durch Verdampfen der Luft unbrauchbar. Die Explosion mußte durch eine Aufsatzpatrone von Schießbaumwolle und Zündhütchen eingeleitet werden, und um gute Resultate zu erzielen, mußte das gefährlichere Teeröl angewendet werden. Schließlich mußte die Vorbereitung des Saugmaterials und das Tränken mit flüssiger Luft im Stollen selbst einige Minuten vor dem Abfeuern erfolgen. Das Ganze wurde dadurch zu einem umständlichen und gefährlichen Verfahren, und es ist sonach nicht zu verwundern, daß flüssige Luft als Explosivstoff kein langes Leben führte.

Man hat auch wieder mit dem mechanischen Absprengen des Gesteines, insbesondere der Kohle, sich befaßt. Die meisten der hierfür ersonnenen Apparate beruhen auf der Keilwirkung. Dubois-François bohren mit einer Luftbohrmaschine Löcher in die Kohle, setzen an Stelle des Bohrers ein Schlagstück, geben in das Bohrloch einen langen Keil und lassen die Bohrmaschine nunmehr als Hammer arbeiten. Beim Levetschen Keile wird ein aus mehreren Teilen bestehender Keil durch Preßwasser auseinandergedrückt. Ein vorteilhafterer Apparat dieser Gattung ist der Walchersche Kohlensprengapparat (Fig. 3). Derselbe besteht aus zwei Backen *bb* und einem Mittelstück *z*, welche durch Stelzen miteinander verbunden sind. Wird nun durch die hydraulische Pumpe Glycerin unter den Kolben *k* gepreßt, so zieht sich das mit ihm verbundene Mittelstück zurück und stellt mit den Stelzen die beiden Backen unter stets wachsendem Drucke nach auswärts. Ist die Kohle der Länge der Backen entsprechend abgebrochen, so kann der Apparat nachgerückt werden.


Fig. 3.

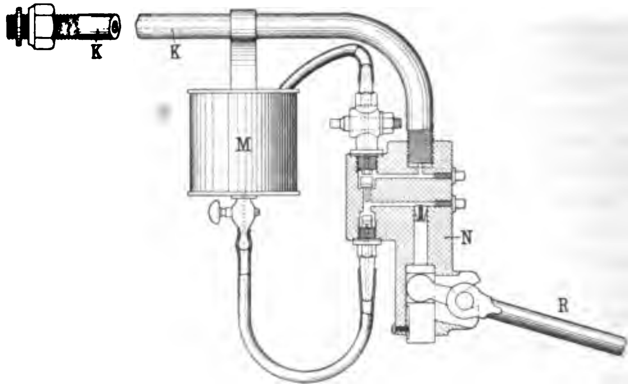
Derlei Vorrichtungen bedürfen sehr weiter Bohrlöcher, und es muß die Kohlenbrust unterschrämt und beiderseits geschlitzt sein; auch dann ist zu harte oder zu weiche Kohle damit nicht oder nur ungünstig zu bearbeiten.

Fig. 4.



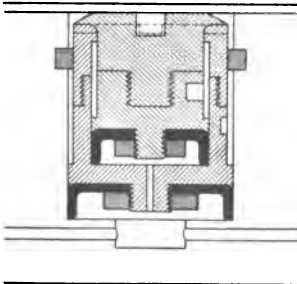
Die beste Vorrichtung dieser Art ist die „hydraulische Sprengpatrone“, erfunden von James Tonge in Bolton, welche im Jahre 1902 den Shaw-Preis der Society of arts erhielt. Die Kohle wird in der üblichen Weise

Fig. 4 a.



unterschrämt, die Stempel werden stehen gelassen, und dann bohrt man ein Loch von 82 mm ($3^1/_4$″) Durchmesser und 3 bis 4 Fuß Tiefe, bis nahe an die Grenze des Schrammes, wonach die „Patrone“ eingesteckt wird. Diese besteht aus einem Stahlzylinder *A* (Fig. 4), 505 mm (20″) lang und 75 mm (3″) im Durchmesser, welche durch ein Rohr *K* mit einer hydraulischen Pumpe *N* verbunden ist. Diese wird von einem Wasserreservoir *M* gespeist und durch einen Hebel *R*, nach Erreichung eines bestimmten Druckes durch einen Verlängerungshebel, angetrieben. Acht kleine Doppelstempel (Fig. 4 b in halber Größe) sind im Zylinder *A* eingesetzt, und werden durch den Wasserdruck herausgetrieben, während Schutzbleche verhindern, daß sie sich in die Kohle einpressen. Nachdem der rückwärtige Teil der Kohle abgebrochen ist, werden die Stützstempel gelockert, und dann bricht die Brust ab. Die Handhabung dauert etwa 10 Minuten. Nach Angaben des Erfinders kann mit diesem Apparate ein Druck von 60 000 kg ausgeübt werden, was für die Kohlenförderung genügt, und 25 Proz. mehr Stückkohle werden damit gewonnen.

Fig. 4 b.



Eigenschaften und Handhabung der Explosivstoffe.

Die Explosion wird in der Praxis meist durch Entzündung des Explosivstoffs hervorgerufen, sie ist aber keineswegs immer gleichbedeutend mit der Verbrennung. Man muß sie vielmehr, nach einer zuerst von Abel angedeuteten Theorie, als die Folge einer großen Anzahl molekularer Schwingungen betrachten, welche entweder durch plötzlichen Druck, oder durch Wärme, oder durch beide gleichzeitig erregt werden. Die Explosion verläuft um so rascher, je größer die Anzahl der Schwingungen in der Zeiteinheit ist. Sie hat um so kräftigere Wirkung, je höher die dabei erzeugte Wärme und je größer die Menge der entstandenen Gase ist, da deren Ausdehnung bekanntlich im Verhältnisse zur Wärme steigt. Die Explosion ist am stärksten, wenn die Schwingungen, die Wärme und die Gasmenge gleichzeitig ihr Maximum erreichen.

Ich führe hier einige der auffallenderen Fälle von Explosionen an.

Chlorstickstoff explodiert, wenn er in siedendes Wasser geworfen wird. Bestreicht man ein winziges Papierstückchen mit Jodstickstoff, dessen Explosionstemperatur 100° ist, und läßt es von etwa 1 m Höhe aus frei niederflattern, so explodiert es beim Berühren der Erde. Legt man ein solches Papierstückchen auf eine Baßgeige und streicht die A-Saite, so bleibt es unbeeinflußt, explodiert aber, wenn man die G-Saite streicht, welche eine größere Schwingungszahl hervorruft. Wird eine Pulverladung im verdämmten Bohrloche entzündet, so brennt sie in der Regel schichtenweise so lange ab, bis der Gasdruck und die Wärme Explosion bewirken. Entzündet man solcherart Dynamit, so wird es bloß verbrennen, ohne zu detonieren. Legt man sie auf einen Amboß und führt einen scharfen Schlag in einem Winkel (englisch: glancing blow), so werden alle Sprengstoffe der Praxis detonieren. Dynamit explodiert zwischen Stahl und Stahl bei einer Schlagarbeit von 0,75 kgm, Pulver bei einer solchen von 7,75 kgm; während jedoch die Explosion durch das ganze Pulver sich fortpflanzt, detoniert Dynamit gewöhnlich nur an der vom Schlage getroffenen Stelle. Läßt man über einer Schießbaumwolladung eine Dynamitpatrone detonieren, so wird erstere bloß ausbrennen; umgekehrt wird Schießwolle das Dynamit sicher zur Explosion bringen. Jeder Explosivstoff hat eine bestimmte Temperatur, über welche hinaus er nicht plötzlich erwärmt werden kann, ohne daß er detoniere; diese Temperatur ist z. B. für Jodstickstoff 100°, für Nitroprodukte durchschnittlich 180 bis 184°, für Pulver zwischen 270 und 320° usw.

Es zeigt sich aus all' dem Gesagten deutlich, daß die Explosion nicht lediglich als Verbrennung aufzufassen und nicht nur durch Entzündung hervorzurufen ist. Wir werden später sehen, daß den Umständen, unter welchen eine Explosion erfolgen kann, bei der praktischen Anwendung der Sprengmittel vorsichtig Rechnung getragen werden muß.

Bei allen Sprengmitteln ist es Grundbedingung, daß, sofern sie aus mehreren Stoffen zusammengesetzt sind, dieselben so innig als möglich miteinander verbunden und gemengt seien, damit im Augenblicke der Explosion durch die ganze Masse hindurch gleichmäßig eine der gewählten Zusammensetzung

entsprechende Aufeinanderwirkung stattfinde. Ist die Mischung ungleich, so wird die Wirkung in den verschiedenen Teilen der Ladung auch eine verschiedene sein, woraus sich eine schlechte Gesamtarbeit ergibt. Dies ist der Grund, weshalb so viele Pulvermischungen noch schlechter sind, als sie sein könnten, und weshalb manche Dynamite so ungleich ausfallen. Es gehört aber hierzu auch — was eigentlich selbstverständlich ist — daß sich die einzelnen Bestandteile in feinster Verteilung befinden. Pulver, bei denen man Schwefelkörner mit freiem Auge unterscheiden kann, oder sonstige Bestandteile leicht herausfindet, werden stets schlecht sein, und roh verarbeitete Sprengmittel ergeben immer schlechte, unatembare Gase, von denen Kohlenoxyd am meisten zu fürchten ist. Es wird dann häufig, besonders in minder gut gelüfteten Strecken, vorkommen, daß, wenn die Arbeiter kurze Zeit nach dem Schusse vor Ort gehen, sie halb bewußtlos werden, oder in eine Art Trunkenheit verfallen. Bei guten Sprengmitteln wird man fast immer nach kurzem Warten wieder an die Arbeit gehen können, ohne sonderliche Beschwerde — mindestens gewöhnt man sich bald an die Sprenggase —; der vorerwähnte Zustand deutet aber regelmäßig auf einen Mangel des Sprengstoffs.

Für Fälle, wo die Lüftungsvorrichtungen nicht mehr ausreichen, um die Arbeitsörter von den Explosionsgasen zu reinigen, hat sich das Einblasen gepreßter Luft sehr gut bewährt.

Wie schon erwähnt, detoniert jedes Sprengmittel, wenn es zwischen Eisen und Eisen geschlagen wird, ja es ist meist um so brisanter, je leichter es so explodiert. Metall ruft schwieriger, Stein sehr selten und Holz gewöhnlich gar keine Explosion hervor. Man hat Dynamitkisten in Steinbrüchen aus mehr als 100 m Höhe herabgeworfen, ohne daß die Patronen explodierten, trotzdem sie ganz zu Brei zerdrückt waren. Gewisse cellulosehaltige Pulver ertragen kräftigere Schläge, und man hat diesen Umstand benutzt, um sie als „ungefährlich" oder „unexplodierbar" zu bezeichnen, ja sogar direkt anzuordnen, daß sie im Bohrloche mit eisernen Ladestöcken so fest als möglich zu verschlagen seien usw. Vor derlei Anpreisungen muß man sich sorgfältig hüten. Es sind Fälle vorgekommen, daß Dynamitpatronen im Bohrloche durch Hammerschläge auf einen *hölzernen* Ladestock explodierten. Beim Verladen von Pulvermischungen mit eisernen oder metallenen Ladestöcken können am Gesteine Funken gerissen werden, und wenn die Mischung auch noch so langsam verbrennt, so sind Beschädigungen der Arbeiter leicht möglich.

Bei den Dynamiten ist manchmal zu bemerken, daß die Patronen stark fettig sind, oder gar das Nitroglycerin vollständig austritt. Dies deutet gewöhnlich auf schlechte Saugstoffe oder Übersättigung mit Nitroglycerin. Können solche Dynamite nicht zurückgewiesen werden, so tut man am besten, das ausgeflossene Nitroglycerin durch Sägespäne aufzunehmen, wodurch die Patronen wieder trocken werden, und die mit Nitroglycerin getränkten Sägespäne in der später zu beschreibenden Weise zu verbrennen. Ähnliche Fälle können sich übrigens auch beim besten Dynamit ereignen, wenn es in einem von der Sonne stark beschienenen Raume ohne Luftwechsel aufbewahrt wird, was stets zu vermeiden ist. Ob die ausgetretene Flüssigkeit wirklich Nitro-

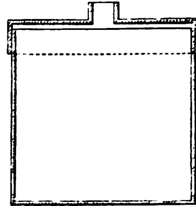
glycerin ist, erfährt man am besten, indem man einen Tropfen davon mit einem Stückchen Löschpapier aufsaugt und mit Hammer und Amboß behandelt, wobei Detonation erfolgen muß.

Andererseits ist Dynamit manchmal „zu trocken", d. h. es enthält weniger Nitroglycerin, als der Saugstoff aufnehmen kann. Dies verursacht eine bloß teilweise Explosion im Bohrloche, und wenn dann, was gewöhnlich der Fall ist, der Rest ausbrennt, so entstehen schlechte Gase in den Grubenräumen. Ebenso wird Sprenggelatine manchmal hart wie Horn, und kann dann nicht mit einem Zündhütchen gewöhnlicher Stärke detoniert werden. Dies ist die Folge eines Überschusses von Nitrocellulose zur Gelatinierung, welche dann während der Lagerung fortschreitet, und die ursprünglich weiche Gelatine hart macht.

Werden gewisse Salpeter enthaltende Dynamite feucht gelagert, und besteht ihre Umhüllung aus Pergamentpapier, so entsteht eine Art Endosmose, die Feuchtigkeit der Luft tritt ein, der Salpeter heraus und legt sich in feinen Kristallen wie ein Pelz außen an. Ist ein solches Dynamit in Paraffinpapier nicht dicht genug gehüllt, so bildet sich innerhalb eine Salpeterlösung. Sind Dynamite dergestalt feucht geworden, so breitet man zweckmäßig die einzelnen Patronen auf Tischen mit Löschpapierunterlage in einem gut gelüfteten, mäßig erwärmten Zimmer zum Trocknen aus.

Da Nitroglycerin in Wasser unlöslich ist, so sollte Dynamit eigentlich unbegrenzte Zeit im Wasser verbleiben können. Sprenggelatine kann tatsächlich so unverändert erhalten werden. Gurdynamit in Pergamentpapierhülsen hält sich eine Stunde lang ziemlich gut, später aber osmosiert alles Nitroglycerin heraus und wird durch Wasser ersetzt. Andere Dynamite werden durch Lösung des Salpeters unbrauchbar. Gute Einhüllung in Paraffinpapier, besonders die wasserdichte Patrone (cartouche étanche) schützen vortrefflich. Für größere Arbeiten unter Wasser verwendet man gewöhnlich Büchsen aus paraffinierter Pappe oder Weißblech mit abnehmbarem Deckel (Fig. 5), welcher oben eine kleine Hülse zur Aufnahme der Zündung hat. Die Büchse wird ringsum mit Talg oder einer anderen geeigneten Masse verdichtet, wovon später noch die Rede sein wird.

Fig. 5.



Nitroglycerin gefriert bei $+12{,}3^0$ zu langen, weißlichen Kristallen, wobei es seine Eigenschaften wesentlich verändert. Nach Untersuchungen von Beckerhinn hat flüssiges Nitroglycerin ein spezifisches Gewicht von 1,599, gefrorenes ein solches von 1,735. Beim Gefrieren zieht sich das Nitroglycerin um $^{10}/_{121}$ seines Volumens zusammen. Während das flüssige Nitroglycerin bei einer Schlagarbeit von 0,78 kgm detoniert, explodiert das gefrorene erst bei 2,13 kgm.

Im Dynamit wird das Nitroglycerin je nach den verwendeten Saugstoffen später gefrieren, weil diese meist schlechte Wärmeleiter sind. Gelatinedynamite gefrieren z. B. erst unter 4^0. Es kommt aber häufig vor, daß Dynamite tagelang Temperaturen von weit unter 0^0 ausgesetzt sind, ohne zu gefrieren, weil der Saugstoff gut schützt, und umgekehrt braucht gefrorenes Dynamit oft mehrere Tage zum Auftauen.

Gefrorenes Dynamit verliert seine plastische Beschaffenheit, wird hart und infolge der Zusammenziehung des Nitroglycerins bleibt es außen mit einer Schicht von Kieselgur bedeckt. Auf gewöhnliche Weise ist es nicht zur Explosion zu bringen, dagegen scheint beim Zerbrechen gefrorener Nitroglycerinkristalle ein eigentümlicher molekularer Vorgang stattzufinden, wenigstens glaubt man, einzelne Explosionen darauf zurückführen zu müssen. Sprenggelatine und Gelatinedynamit erhalten ein milchiges Aussehen und werden hart beim Gefrieren, und in diesem Zustande sind sie empfindlicher als im weichen. Ein Unfall in der Nantymwyngrube scheint dadurch entstanden zu sein, daß eine Kiste gefrorenen Gelignits unvorsichtig rasch einen tonnlägigen Schacht hinabgeschleift wurde und hart auffiel. Gefrorene Sprenggelatine kann durch ein Zündhütchen leicht detoniert werden, sie soll aber nicht im Bohrloche zerstampft werden. Setzt man ein wenig mit Nitroglycerin getränkte Schießbaumwolle auf gefrorenes Dynamit, so detoniert auch dieses sicher. Da Schießwolle aber nicht immer zu beschaffen ist, so wird allgemein das Dynamit aufgetaut.

Fig. 6.



Man bedient sich hierzu am besten besonderer Wärmkasten, wie solche hier abgebildet sind (Fig. 6 bis 8). Sie bestehen aus doppelten Zinkblechgefäßen,

Fig. 7.

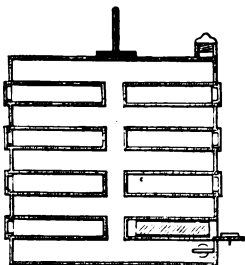
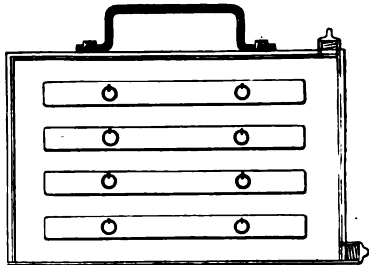


Fig. 8.



in welchen warmes Wasser von höchstens 70° die Auftauung besorgt. Zur Erhaltung der Wärme kann man den ganzen Apparat in eine Doppelkiste stellen, deren Zwischenräume mit Sägespänen oder dergleichen ausgefüllt sind. Wo ein solcher Apparat nicht zur Verfügung ist, kann man irgend ein verschließbares Gefäß nehmen, das man in warmen Dünger stellt; jedoch muß man dann häufig die Temperatur beobachten, da Dünger sich oft sehr bedeutend erhitzt. Bei großen Eisenbahnbauten richtet man zweckmäßig eigene Wärmstuben ein, oder man versieht die Magazine mit einer Warmwasserheizung. Um das Dynamit auf dem Wege zum Verbrauchsorte nicht gefrieren zu lassen, pflegen die Arbeiter es in die Hosentaschen zu stecken.

Beim Auftauen des Dynamits muß man sehr vorsichtig sein. Die Unglücksfälle dabei werden wohl alljährlich geringer, aber es gibt doch noch immer Leute, welche die Gefäße mit Dynamit oder gar das Dynamit selbst auf heiße

Ofenplatten oder neben den Herd legen, was zu verheerenden Explosionen Veranlassung gibt. Man darf nicht vergessen, daß fast alle Sprengmittel bei Erhitzung über 180° explodieren, und daß sie gegen äußere Einflüsse um so empfindlicher sind, je wärmer sie werden. Dynamit erleidet schon über 70° Veränderungen, welche bei fortgesetzter Steigerung der Temperatur sehr nachteilig werden können. Man versuche also nicht, durch große Wärme plötzlich aufzutauen, sondern fange früher damit an und gönne sich genügend Zeit.

Die Wärmeapparate sind mindestens einmal wöchentlich mit warmer Sodalösung auszuwaschen; Reinlichkeit ist für die Beständigkeit notwendig. Wenn der Wärmekasten leck wird, oder sonst auszubessern ist, so wasche man ihn vorher, besonders das innere Gefäß, mit einer Lösung von 2 Tln. Ätznatron und 2 Tln. Alkohol in 96 Tln. Wasser tüchtig aus, um etwa in den Fugen vorhandenes Nitroglycerin zu zerstören.

Das häufige Berühren von Nitroglycerin oder Dynamit verursacht starken Kopfschmerz, besonders wenn man mit so beschmutzten Händen in die Nase oder auf die Zunge kommt. Es gibt viele Personen, welche diese physiologische Wirkung des Nitroglycerins niemals verspüren; die meisten gewöhnen sich bald daran, manche aber nie. Gegen diesen Kopfschmerz ist Trinken von kaltem schwarzem Kaffee und kalte Umschläge im Nacken und auf der Stirn bewährt; auch essigsaures Morphin (unter ärztlicher Aufsicht) ist empfohlen.

Nicht alle Sprengmittel verhalten sich gleichmäßig gegen die Entzündung. Pulver in kleinen Mengen verpufft und explodiert in größeren. Die verschiedenen Pulvermischungen verbrennen je nach der Sorgfalt, welche auf ihre Herstellung verwendet wurde. Einzelne Mischungen können selbst in größeren Mengen noch nicht explodieren, man wird aber bekanntlich Pulver stets vor Feuer schützen. Dynamit brennt langsam ab. Man hat in England 102 kg Gelatinedynamit verbrannt, ohne Explosion zu erzielen. Größere Mengen, besonders in geschlossenen Räumen, werden aber, wenn entzündet, eine solche Hitze entwickeln, daß, nachdem ein Teil ruhig verbrannte, der Rest explodieren wird. Wenn demnach ein Vorratsraum von Sprengmitteln aus irgend einer Ursache in Brand gerät, so versuche man nicht zu löschen, sondern trachte eine Deckung zu gewinnen. Hat jedoch dabei eine Explosion stattgefunden, so untersuche man unmittelbar darauf etwa in der Nähe stehende Gebäude, ob nicht brennende Stücke auf sie geflogen sind.

In einer Wurst aus Pulver von 20 mm Durchmesser wird die Explosion in einer Sekunde auf 2,50 m, in einer Dynamitwurst dagegen in derselben Zeit auf mehr als 5000 m fortgepflanzt. Die Explosion des Dynamits ist jedoch nur durch eine kräftige Anfangseinwirkung zu erzielen, was gewöhnlich durch Zündhütchen geschieht. Wird Pulver durch ein Zündhütchen detoniert, so entwickelt es gleichfalls größere Kraft; diese Art der Zündung ist jedoch wegen der Gefahr beim Besetzen nicht anwendbar.

Die Explosion erfolgt unter großer Entwickelung von Wärme. Genaue Bestimmungen derselben sind aus verschiedenen Gründen nicht möglich, jedoch lassen neuere Versuche als sicher annehmen, daß sie für Pulver etwa 1950° und für Nitroglycerin etwa 3050° betrage.

Die von Explosivstoffen entwickelte Kraft hängt natürlich von deren Menge und der Dauer der Explosion ab. Nach Trauzl entwickelt 1 kg Schwarzpulver, in einen Würfel von 0,100 m Seite einschließbar, in $^1/_{100}$ Sekunde über 200 000 mkg, und 1 kg Dynamit, einen Würfel von nur 0,090 m Seite einnehmend, schon in $^1/_{50\,000}$ Sekunde gegen 1 000 000 mkg Arbeitsfähigkeit.

Es ist eigentlich selbstverständlich, daß die Sprengmittel ein Minimum von Feuchtigkeit enthalten sollen, doch legen die Verbraucher selten genügend Wert darauf. Weniger als $^1/_4$ Proz. wird sich selten finden, man muß vielmehr als Mittel $^1/_2$ Proz. annehmen, da aus der Luft immer Feuchtigkeit angezogen wird. Mit ihrer Zunahme vermindert sich die Wirkung außerordentlich; Sprengmittel mit 5 Proz. Feuchtigkeit verlieren mindestens ein Viertel ihrer Wirkung, und zwischen 15 und 20 Proz. Feuchtigkeit sind sie gar nicht mehr zur Explosion zu bringen. Eine Ausnahme hiervon macht die Schießbaumwolle, welche durch Aufsetzen einer trockenen Patrone auch dann noch detoniert.

Die chemische Untersuchung der Sprengstoffe läßt sich selten mit einfachen Mitteln ausführen, und es ist auch am besten, sie geübten Händen zu überlassen, denn nur Personen, welche in solchen Analysen längere Erfahrung besitzen und mit den Eigenschaften der Sprengstoffe vollkommen vertraut sind, werden verläßliche Ergebnisse erzielen. Diejenigen, welche es trotzdem versuchen wollen, werden in meinem Buche über „Die Industrie der Explosivstoffe" vollständige Anleitung finden.

Hat man aus irgend einem Grunde die Aufgabe, Explosivstoffe zu vernichten, so befreie man dieselben stets von allen Verpackungen (Dynamit auch von Pergamentpapier). Pulvermischungen oder sonstige leicht lösliche Stoffe wirft man in viel Wasser. Dynamit und ähnliche Stoffe legt man auf einem freien Felde in längeren Würsten aus, übergießt sie mit Petroleum, und zündet mit einer Sicherheitszündschnur an, jedoch so, daß der Wind gegen die Flamme bläst. Eine Explosion wird dabei nur höchst selten vorkommen.

Wahl der Sprengmittel.

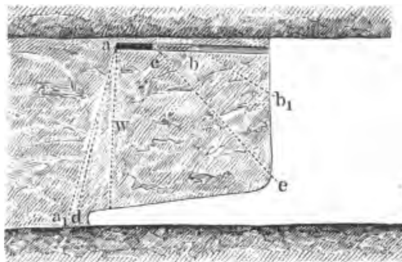
Gegenüber den Anpreisungen aller Art, welche jedes Sprengmittel erfährt, gibt es wohl kaum etwas Schwierigeres, als eine richtige Wahl zu treffen. Manche Gruben, welche früher schlechte Ergebnisse lieferten, sind wieder in guten Betrieb gekommen, als sie das Sprengmittel wechselten, aber ebenso oft sind große Nachteile entstanden.

Man kann im allgemeinen annehmen, daß bei der Sprengarbeit keine zu weit gehende Zertrümmerung des Gesteins verlangt werde. Die Kohle soll in möglichst großen Stücken brechen, Erze lassen sich meist in groben Stücken besser verhütten, und bei edlen Gängen ist die Handscheidung in den finsteren Strecken durch kleines Sprenggut sehr erschwert. Aus diesem Grunde sind außerordentlich kräftige und brisante Sprengmittel, wie z. B. die reine Sprenggelatine, nicht überall vorteilhaft, und daher kommt es, daß Dynamite mit

geringerem Nitroglyceringehalte, oder selbst wenig brisante, direkt explodierbare Stoffe viel verwendet werden.

Man sollte eigentlich glauben, daß schwächer dosierte Dynamite nicht nötig seien, da man ja selbst vom stärksten Dynamit nur die Ladung kleiner zu machen brauche, um geringere Kraft zu erhalten. Wir werden später sehen, daß diese Annahme für Bohrlochsladungen (gestreckte Ladungen) nicht zutrifft. Hier sei nur vorläufig bemerkt, daß, wenn eine gestreckte Ladung *ab* bei z. B. zwei freien Seiten (Fig. 9) einen Trichter $a_1 b_1$ wirft, eine um die Hälfte kürzere, aber gleich kräftige Ladung *ac* einen viel kleineren Trichter *de* werfen wird. Es hat nämlich in diesem Falle die Längeneinheit der Ladung *ab* genügend Kraft besessen, um den Widerstand *w* zu überwinden; vergrößert man jedoch die Kraft pro Längeneinheit, indem man die Ladung *ac* nimmt, so ist die Wirkung für den Widerstand *w* zu groß, gegen die Mantelflächen des Trichters zu wird sie aber allmählich aufgehoben. Es folgt daraus, daß man bis zu einer durch die Größe der Widerstandslinie gegebenen Grenze bei gestreckten Ladungen sehr häufig vorteilhaft mit voluminöseren (spezifisch leichteren) Sprengmitteln arbeitet.

Fig. 9.



Es gibt Umstände, welche die Verwendung gewisser Sprengmittel von vornherein ausschließen. Es ist z. B. unmöglich, in sehr hartem und zähem Gesteine einen direkt explodierbaren Stoff zu benutzen, weil in denselben die Bohrlöcher naturgemäß eng und kurz ausfallen, und eine Ladung, welche genügen könnte, das Bohrloch abzutun, dieses entweder ganz ausfüllt oder doch so wenig Raum für den Besatz übrig ließe, daß er wie eine Kanonenkugel herausgeschossen würde. Sehr weiches Gestein läßt die Anwendung von Dynamiten gleichfalls vorteilhafter erscheinen, weil die verhältnismäßig langsame Wirkung der direkt explodierbaren Stoffe durch die Elastizität oder die Zusammendrückbarkeit des Gesteins zu viel abgeben müßte, ehe sie den Widerstand überwindet. Daß in feuchten oder nassen Bohrlöchern, oder in sehr klüftigem Gestein direkt explodierbare Sprengmittel nicht brauchbar sind, bedarf keiner weiteren Erörterung.

Es gibt wohl auch noch lokale Rücksichten genug. Gewisse Braunkohlengruben in Nordwestböhmen lieben das Dynamit nicht, weil die Kohle nach dem Schusse mit einem feinen, rötlichen Staube überzogen ist, statt tiefschwarz zu sein, was ungünstig für den Verkauf ist. In den Salzbergwerken von Aschersleben kann man Pulver nicht verwenden, weil dessen Gase in Verbindung mit dem feinen Salzstaube die Augen der Arbeiter in heftiger Weise angreifen. In Kohlengruben wird häufig das Schwarzpulver oder demselben ähnliche Mischungen vorgezogen, weil hier das Mehrergebnis von Stückkohle durch größeren Wert hauptsächlich maßgebend ist. Bei richtiger Benutzung

sehr schwach dosierter Dynamite bieten dieselben gleiche Vorteile, jedoch ist gerade an dieser Grenze der Streit sehr lebhaft, weil die Versuche in verschiedenen Gruben wegen der geänderten Verhältnisse auch verschiedene Ergebnisse liefern.

Ohne der Parteilichkeit geziehen zu werden, kann man doch behaupten, daß im allgemeinen die Dynamite den Anforderungen an Kraft, Sicherheit, Handlichkeit und billigen Betrieb gegenwärtig am meisten entsprechen, und sie sind für größere Arbeiten jetzt auch ausschließlich in Verwendung. Örtliche Rücksichten werden manchmal andere Sprengmittel vorziehen lassen, da muß man dann eben seine Rechnung durch Versuche machen.

Nicht unwesentlich bei der Wahl der Sprengmittel ist die Rücksicht auf die Arbeiter, welche jeden neuen Explosivstoff mit Mißtrauen ansehen, weil er sie aus ihren Gewohnheiten bringt und weil sie fürchten, in ihrem Einkommen geschmälert zu werden, entweder dadurch, daß er weniger leistet, oder dadurch, daß bei größerer Leistung die Gedinge zu ihren Ungunsten verändert werden. Da nun die Arbeiter auch meist selbst den Sprengstoff bezahlen, so glauben manche Arbeitgeber, es sei nicht gut, die Arbeiter in der Wahl des Sprengmittels zu beeinflussen. Obzwar dies bis zu einem gewissen Grade richtig ist, wird doch jeder einsichtige Grubenvorsteher sorgfältig die Güte und den Verbrauch der Sprengstoffe beaufsichtigen, weil die Leistung der Arbeiter in der Zeiteinheit und die Beschaffenheit der geförderten Güter davon in hohem Grade abhängen. Es wird sogar vorkommen, daß er die Arbeiter zwingen muß, ein zweckmäßigeres Sprengmittel zu benutzen, immer aber hängt das Gelingen der Einführung von Verbesserungen von dem richtigen Takte und der guten Aufsicht des Arbeitsleiters ab.

Apparate zur Prüfung der Kraft von Explosivstoffen.

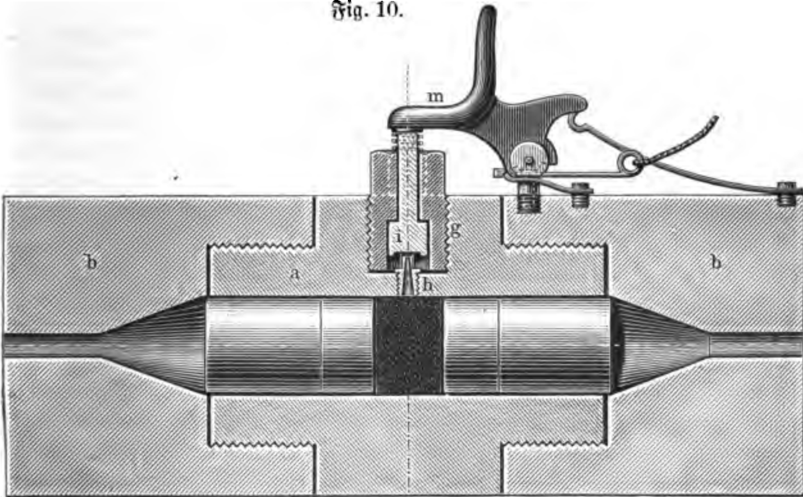
Die Versuche, durch einfache Mittel die Eigenschaften der Explosivstoffe zu prüfen, sind fast so alt als diese. Während es an Vorrichtungen nicht fehlt, um die Tauglichkeit von Explosivstoffen für Feuerwaffen, ihre Triebkraft, Stabilität, Entmischungsfähigkeit, Empfindlichkeit gegen Schlag usw. zu bestimmen, gibt es eigentlich noch keinen Apparat, welcher die Kraft derselben für sämtliche untereinander vergleichen ließe. Bei der Sprengarbeit ist nämlich in erster Linie die Kraft zu berücksichtigen, d. i. das Produkt aus der Menge der entstandenen Gase, der hierbei entwickelten Wärme, und der Zeit (in umgekehrtem Verhältnisse), innerhalb welcher die Vergasung erfolgt. Die verschiedenen Stangen-, Pendel- usw. Proben zeigen nur die Brisanz, nicht aber die Kraft.

Wesentlich für einen Apparat zur Prüfung der Kraft von Explosivstoffen ist, daß der zu untersuchende Stoff darin vollständig detoniere, ehe die Gase entweichen können, und daß so wenig als möglich von diesen durch den Zündkanal oder anderweitig einen Ausweg finde.

Der Guttmannsche Kraftmesser (vom Verfasser) für alle direkt explodierbaren Stoffe (Pulver u. dgl.) besteht aus dem Mittelstücke *a* (Fig. 10 bis 12)

und den aufgeschraubten Kopfstücken *b b*, sämtlich aus gehärtetem Bessemerstahl. Mittelstück und Kopfstück sind auf 35 mm Weite ausgebohrt, die Bohrung der letzteren setzt sich auf 35 mm Tiefe konisch fort und endigt in einen 10 mm

Fig. 10.



weiten, zylindrischen Kanal. In die Mitte des Mittelstücks ist auf 25 mm Tiefe der Zündpfropfen *g* eingesetzt und in die zwischen dem Zündpfropfen und der Bohrung des Mittelstücks verbleibende Wand eine Pyramide *h* ein-

Fig. 11.

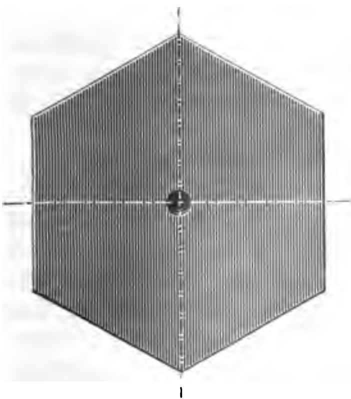
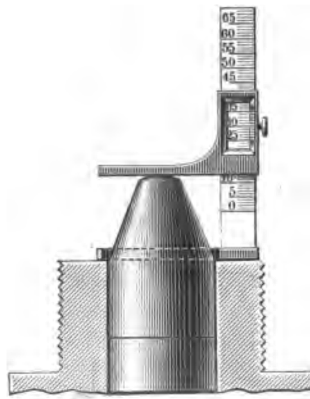


Fig. 12.



geschraubt. Der untere Teil des Pfropfens ist ausgehöhlt und der Hohlraum setzt sich in einer 6 mm weiten Bohrung fort; in diesem Hohlraume spielt ein Ventil *i*, auf das durch einen Hahn *m* ein Schlag geführt werden kann. Der Apparat wird geladen, indem man das Mittelstück mit einem Kopfstücke zusammenschraubt, und in die Bohrung der Reihe nach folgendes einführt: 1. einen Zylinder aus gezogenem Blei von 35 mm Durchmesser und 40 mm

Höhe; 2. eine Stahlscheibe von 35 mm Durchmesser und wechselnder Dicke, je nach dem spezifischen Gewichte des Pulvers (zur Bestimmung derselben dient ein besonders graduiertes Meßgefäß); 3. eine Scheibe aus 1 mm dickem Preßspan (Satinierpappe), welche dicht schließen muß; 4. genau 20 g des zu untersuchenden Pulvers; 5. eine Preßspanscheibe; 6. eine Stahlscheibe; 7. ein Bleizylinder. Hierauf schraubt man das zweite Kopfstück und damit den ganzen Apparat fest zu; dieser ist außen sechskantig geformt, so daß er mit großen Mutterschlüsseln gefaßt werden kann. Nun setzt man auf die Pyramide ein gewöhnliches Gewehrzündhütchen, schraubt den Zündpfropfen mit dem Ventile ein und zieht den gespannten Hahn mit einer Schnur ab. Durch die Explosion wird das Ventil gehoben und schließt selbsttätig den Ausweg für die Gase; es erfolgt also die Explosion in vollständig geschlossenem Raume, und man hört deshalb keinen Knall. Zu gleicher Zeit werden die Bleizylinder in die konischen Hohlräume eingedrückt. Man kann den Apparat unmittelbar darauf öffnen, da der entstandene Druck zur Verdichtung der Explosionsgase vollständig verbraucht ist, und die Höhe der erzeugten zwei Bleikonusse mit Hilfe einer Schubleere messen. Dieses Maß vergleicht man dann mit den Ergebnissen eines Normalsprengstoffs, gewöhnlich Schwarzpulver. Man wird minder genaue Resultate erhalten, wenn man den entstandenen Hohlraum mißt, weil man das ursprüngliche Volumen des Pulvers abziehen muß, dieses aber nach dem Zusammenschrauben des Apparates unbekannt ist.

Der Guttmannsche Apparat gibt sehr genaue Resultate; ein Beweis dafür ist u. a. der, daß Pulver gleicher Zusammensetzung, aber verschiedener Korngröße, welche im Bohrloche ja gleiche Kraft ausüben, aber auf jedem anderen Apparate verschiedene Ergebnisse liefern, auf dem Guttmannschen Kraftmesser gleiche Konusse ergeben[1]).

Für indirekt explodierbare Stoffe (Dynamit u. dgl.) ist die Trauzlsche Bleiprobe nunmehr allgemein in Gebrauch, und die Vorschriften hierzu wurden auf dem im Jahre 1903 in Berlin abgehaltenen internationalen Kongresse für angewandte Chemie beschlossen.

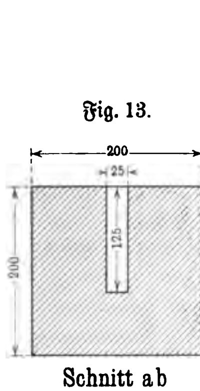
Die Bleiblöcke (Fig. 13 und 14) sollen aus möglichst reinem, raffiniertem Weichblei hergestellt sein, und die für eine Versuchsreihe bestimmten Zylinder sollen ein und derselben Schmelze entstammen. Die Form zum Gießen der Zylinder ist in den Fig. 15 und 16 gegeben. Zur Erwärmung des Gießstutzens ist ein glühend gemachter Ring herumzulegen. Nach dem Gießen sollen die Zylinder lange genug gestanden haben, um eine gleichmäßige Temperatur von 15 bis 20° C durchweg mit Sicherheit zu erhalten.

10 g des Sprengstoffs werden abgewogen und in Zinnfolie von 80 bis 100 g pro Quadratmeter nach den Abmessungen der Fig. 17 zu einer Patrone von 25 mm Durchmesser geformt. Als Initialzündung wird in die Mitte des Sprengstoffs eine Sprengkapsel von 2 g Ladung mit ausschließlich elektrischer Zündung eingesetzt. Die Patrone wird in das Bohrloch mit Hilfe eines Holz-

[1]) Der Kraftmesser ist durch Mechaniker E. O. Knötschke in Wien, IV, Belvederegasse 28, zu beziehen und kostet mit allen Hilfsvorrichtungen 200 Gulden.

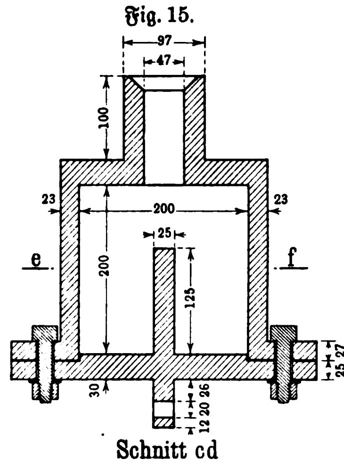
stäbchens bis auf den Grund des Bohrloches hinuntergeführt und sanft angedrückt, während die Zünddrähte in der Mitte des Bohrloches gehalten werden.

Fig. 13.



Schnitt ab

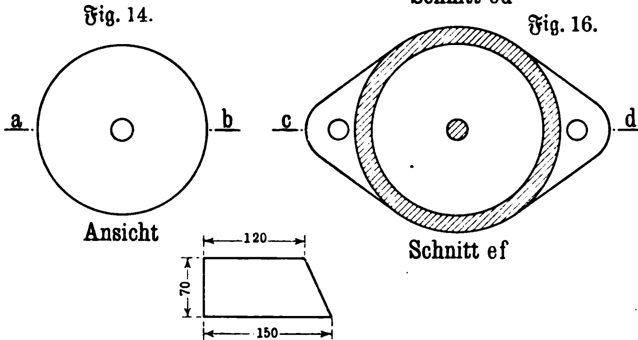
Fig. 15.



Schnitt cd

Fig. 14.

Fig. 16.



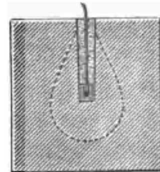
Ansicht

Schnitt ef

Fig. 17.

Zum Besatze dient scharf getrockneter Quarzsand, welcher durch ein Sieb von 0,35 mm Drahtstärke und 144 Maschen pro Quadratcentimeter läuft. Diesen Sand läßt man gleichmäßig einlaufen, bis der Hohlraum vollständig gefüllt ist, und streicht den etwaigen Sandüberschuß von der Oberfläche ab. Nach dem Abfeuern wird der Bleiblock umgestürzt und etwaige Rückstände mit einer Bürste entfernt. Die danach bis zur vollkommenen Füllung von dem gebildeten Hohlraume aufgenommene Anzahl Cubikcentimeter Wasser, nach Abzug der Ausbohrung des Zylinders, ergeben das Maß für die Wirkung des Sprengstoffs.

Fig. 18.



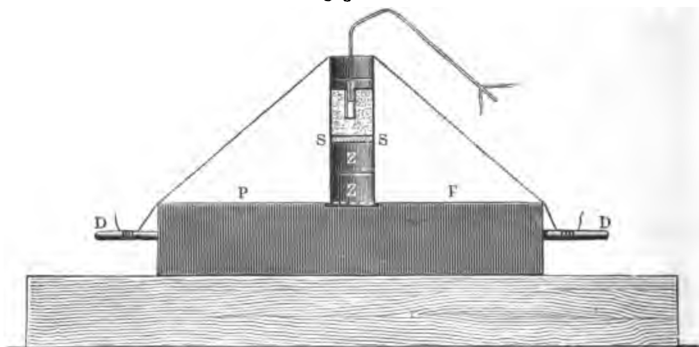
Es sollte eigentlich ein kugelförmiger Hohlraum (Fig. 18) im Blei entstehen, da aber durch den von der Zündschnur gebildeten Kanal Gase entweichen und der Besatz geringeren Widerstand bietet, so entsteht nur eine flaschenförmige, mehr oder minder ausgebauchte Höhlung, welche durch Eingießen von Wasser aus einem graduierten Gefäße gemessen

wird und damit die Kraft anzeigt. Da Blei von wechselnder Härte ist, und durch häufiges Umgießen stets härter wird, so empfiehlt es sich, eine Anzahl von Bleizylindern einer Schmelzung vorrätig zu halten, und stets auch einen Normalsprengstoff (gewöhnlich 75 prozentiges Gurdynamit) zu versuchen, um damit zu vergleichen.

Es ist jedoch zu bedenken, daß in dieser Bleiprobe ein ordentlicher Vergleich nur zwischen solchen Explosivstoffen gemacht werden kann, welche in ihren Eigenschaften nicht weit voneinander verschieden sind. So zeigen z. B. Aluminiumsprengstoffe in der Bleiblockprobe eine anscheinend viel größere Kraft, als sie tatsächlich besitzen; die Ursache dafür ist die abnorm hohe Explosionstemperatur, welche die Eigenschaften des Bleies zu verändern scheint.

Die in der Versuchsstrecke des britischen Ministeriums des Innern zu Woolwich für die Beurteilung der Kraft eines Explosivstoffs verwendete Probe beruht auf dem bekannten ballistischen Pendel, und ist besonders verläßlich. Wegen ihrer Größe und Kosten ist sie jedoch für Verbraucher von Explosivstoffen kaum erreichbar. Der Explosivstoff wird ohne Besatz in einen Mörser geladen, welcher gegen einen anderen, pendelartig auf Rollagern aufgehängten Mörser herangefahren wird. Beim Abfeuern der Ladung verursacht der Stoß der Gase einen Ausschlag des Mörsers, welcher an einer gegen denselben rückwärts auf Null eingestellten Lehre abgelesen wird.

Fig. 19.



In Österreich-Ungarn wird ein Apparat (Fig. 19) verwendet, welcher auf der Deformierung von Bleizylindern beruht. In eine Gußeisenplatte *P* ist eine kreisförmige Vertiefung eingedreht, und in diese werden zwei Bleizylinder *ZZ* von 40 mm Durchmesser und 30 mm Höhe übereinandergesetzt. Auf diese werden eine oder zwei Stahlplatten *S* von 4,5 mm Dicke gegeben und sodann die Ladung von 50 g in einem Weißblechbüchschen von 40 mm lichtem Durchmesser und 30 mm lichter Höhe bei 0,5 mm Blechstärke. Ein Blechdeckel mit einem Ansatze zur Aufnahme des Zündhütchens mit Zündschnur paßt dicht hinein, und das Ganze wird mit Draht an den Stiften *D* befestigt. Ekrasit (ein Pikrinsäure-Explosivstoff) gibt eine Stauchung des oberen Zylinders um 24 bis 27 mm, des unteren um 11 bis 11,1 mm, während bei Wetterdynamit die bezüglichen Zahlen 12 und 4,5 mm sind.

Trotzdem die erwähnten Apparate sehr wertvolle Anhaltspunkte für die Beurteilung von Sprengstoffen geben, so muß doch davor gewarnt werden, aus deren Angaben unbedingte Schlüsse auf die Tauglichkeit verschiedener Explosivstoffe für bestimmte Zwecke zu ziehen. Die Umstände bei den Sprengungen im Gesteine wechseln so sehr, und die Anforderungen an die Explosivstoffe in den verschiedenen Betriebsorten sind so veränderlich, daß die entscheidende Probe stets einem mehrtägigen Versuche in ganz gleichartigen Bauen und einer genauen Berechnung und Berücksichtigung aller Vor- und Nachteile vorbehalten bleiben muß.

Sprengarbeit in Schlagwettergruben.

Die in Kohlengruben auftretenden, sogenannten „schlagenden Wetter" fordern alljährlich eine große Anzahl von Opfern. Die Ursache ihrer Entzündung liegt stets entweder an der Mangelhaftigkeit der in den Grubenbauen verwendeten Sicherheitslampen, oder an dem unvorsichtigen Hantieren der Arbeiter mit Feuer und Licht, oder sie ist eine Folge der Sprengarbeit. Während die Abhilfe in den beiden ersteren Fällen ohnedies Gegenstand ernsten Studiums der Bergleute ist, sei der Einfluß der Sprengarbeit hier kurz erörtert.

Schlagende Wetter sind eine Mischung von Methan (leichtes Kohlenwasserstoffgas CH_4) mit mindestens einem sechsfachen Volumen von Luft. Die Erfahrung hat gezeigt, daß eine Mischung von ungefähr 9,5 Proz. Methan mit Luft am heftigsten explodiert. In Mischungen, welche weniger als 5 Proz. und mehr als 14 Proz. enthalten, wird die Flamme nicht fortgepflanzt, dieselben sind aber deshalb nicht weniger gefährlich. Obzwar in der Kohle selbst befindliche Gassäcke durch einen Sprengschuß nicht entzündet werden können, so wird doch das aus denselben strömende Gas, wenn es in der Strecke mit Luft sich mischt, sofort gefährlich. Kohlenstaub in „staubigen" Strecken ist auch stark explosiv und schlagende Wetter mit einem geringen Prozentsatz von Methan werden explosiv, wenn sie mit Kohlenstaub gemischt sind.

Eine Explosion schlagender Wetter kann verursacht werden: a) durch Abfeuern des Schusses mittels Zündschnur, b) dadurch, daß ein Teil des unexplodierten Explosivstoffs brennend herausgeschleudert wird, oder c) dadurch, daß zwischen dem detonierenden Sprengstoffe und der Grubenluft eine Verbindung hergestellt wird. Die für jeden dieser Fälle erforderlichen Vorsichten sind klar.

Es ist gegenwärtig überall verboten, einen Schuß mit einer Zündschnur oder sonstigen Mitteln abzufeuern, welche eine Flamme erzeugen können. Elektrische Zündung, wenn sie ordentlich eingerichtet und beaufsichtigt wird, ist vollkommen sicher, ebenso Lauers Friktionszünder und Tirmanns Perkussionszünder, wahrscheinlich auch Heß' detonierende Zündschnur. Um zu verhindern, daß ein Teil des brennenden Explosivstoffs herausgeworfen werde, darf man das Bohrloch nicht überladen und muß es ordentlich verstemmen. In England, wenn Explosivstoffe geprüft werden, bevor sie auf die „gestattete Liste" kommen, wird besonders darauf gesehen, daß sie vollständig explodieren. Eine Verbin-

dung zwischen der explodierten Ladung und der Grubenluft kann nur dann eintreten, wenn das Bohrloch eine natürliche Spalte oder einen Riß im Gesteine durchquert, wenn der Besatz ungenügend war, oder längs der durch die Zündschnur gebildeten Öffnung. Wenn demnach Bohrlöcher sorgfältig abgetrieben werden, sorgfältig verstemmt sind, und die Ladungen elektrisch abgefeuert werden, ist Gefahr abwesend. Bohrlöcher sollen niemals mit Kohlenstaub besetzt werden, sondern mit feuchtem Ton, da ersterer sich und sonach die schlagenden Wetter entzünden kann.

Der Gebrauch von Schießpulver oder Dynamit ist in Schlagwettergruben jetzt allgemein verboten, da sowohl Erfahrung wie Versuche dieselben als gefährlich erwiesen haben. Die ersten wichtigen Schritte zur Aufklärung der Explosivstoffrage in Schlagwettergruben wurden durch die französische Kommission im Jahre 1887 unternommen und darüber im Jahre 1888 berichtet. Bald darauf hat ein Komitee des Nordenglischen Institutes der Bergingenieure eingehende Versuche in Hebburn-on-Tyne angestellt und gegenwärtig hat jedes an der Frage interessierte Land sowohl amtliche wie private Versuchswetterstrecken. Während in Deutschland und auch in Belgien Versuchsstrecken mit natürlichem Grubengase arbeiten, verwenden manche Benzin oder Gasoline, andere wieder, und insbesondere die amtliche Station in Woolwich, eine Mischung von Leuchtgas und Luft. Diese letztere Mischung ist viel empfindlicher, aber es wird angenommen, daß ein Explosivstoff, welcher die Leuchtgasmischung nicht entzündet, auch Grubengas nicht zünden werde. Kurz erklärt, besteht eine Versuchsstrecke aus einem horizontalen langen eisernen oder hölzernen Zylinder, welcher an einem Ende durch eine Papierscheibe verschlossen ist, an dem anderen entweder in einen Betondamm eingelassen ist, in welchem ein Mörser sich befindet, oder wie in Woolwich, wird der Mörser auf einem Wagen, nachdem er geladen ist, gegen den Zylinder angefahren und daselbst abgedichtet. In Woolwich feuert man mit einem bestimmten Gewichte von trockenem Tonbesatz eine Ladung, welche zwei Unzen (57 g) 75 Proz. Kieselgurdynamits an Kraft entspricht, und 20 Schüsse hintereinander dürfen die Gasmischung nicht zünden. In Deutschland und in Belgien wird die Ladung unverdämmt abgefeuert und allmählich gesteigert, bis jene Grenzladung gefunden wird, welche die Gasmischung entzündet. Letztere Methode der Prüfung ist besser, denn sie gestattet zwischen den einzelnen Explosivstoffen zu unterscheiden.

Das französische Explosivstoffkomitee fand, daß eine Grubengasmischung bei einer Temperatur von 650° C explodiere, daß aber die Explosionsgase so stark abgekühlt werden, daß selbst wenn die Temperatur auf 2200° C steigt, die Grubengasmischung nicht entzündet werde. Sie bestimmte daher als Maßstab, daß die berechnete Explosionstemperatur eines Explosivstoffs 1500° C nicht übersteigen soll. Diese Vorschrift wurde jedoch durch spätere Versuche teilweise unbegründet gefunden. Carbonit z. B., welches eine Explosionstemperatur von über 1800° C hat, ist einer der sichersten Explosivstoffe, von welchem 1000 g eine 8 prozentige Grubengasmischung noch nicht entzünden, obzwar 1100 g dies tun. Dies zeigt auch, daß es keinen absolut sicheren Explosivstoff gibt, jeder hat eine bestimmte Sicherheitsgrenze. Andererseits

kann die Sicherheit von Explosivstoffen nicht immer an ihrer Explosionstemperatur gemessen werden. Versuche, welche Herr Bichel in Schlebusch machte, zeigten, daß die Brisanz, die entwickelte Wärme, und die Dichte der Ladung, und damit der Gasdruck, die Länge und Dauer der Flamme, alle dazu beitragen, die Sicherheit eines Explosivstoffs herabzusetzen.

Allgemein gesagt, sind Mischungen von Ammonnitrat mit einem verbrennbaren Stoffe für vernünftige Ansprüche sicher. Aber auch manche Dynamite, welche solche Bestandteile wie Holzmehl, Roggenmehl u. dgl. enthalten, sind sehr sicher, weil die bei der Explosion gebildeten Kohlenoxyde und Wasserstoff in Abwesenheit von Luft einen löschenden Effekt auf die Flamme haben. Die gegenwärtig in Gebrauch befindlichen Explosivstoffe sind aus den Tabellen zu S. 16 zu entnehmen, in welchen deren Zusammensetzung, sowie alle gleichartig zusammengesetzten Explosivstoffe auf einen Blick ersehen werden können.

Zündmittel.

Trotzdem die Sicherheitszündschnüre bereits überall verbreitet sind, findet man für Pulver noch häufig die alten, einfachen Zündungen, von welchen die Zündhalme hauptsächlich angewendet sind. Es sind dies unbeschädigte Strohhalme, deren Knoten dünn geschabt ist, und welche mit feinkörnigem Pulver (Halmpulver) gefüllt und verklebt werden. Joh. Pietzka in Morgenroth hat einen Apparat zum Füllen der Strohhalme patentiert, wobei die Halme in Rahmen eingelegt, mit Klemmen und Haltern festgestellt, in konische Mundstücke eines gemeinsamen Trichters eingesteckt und durch eine von einer gekröpften Welle bewegte Schüttelvorrichtung gefüllt werden.

Die Zündrute ist meist die eine Hälfte eines Schilfrohres, in welche ein Brei aus mit Wasser angemachtem Pulver eingestrichen und getrocknet wird. Stellenweise findet man die Rakete, ein ebenso bestrichenes ganzes Rohr, oder die Stoppine, einen Wollfaden mit Pulverbrei beschmiert.

Zum Anbrennen aller dieser Zündungen verwendet man das Schwefelmännchen, einen in geschmolzenen Schwefel getauchten Wolldocht. Das Entzünden mit Zündschwamm ist unsicher, weil seine Brenndauer ungleich ist, er häufig auch erlischt. Auch der Ludelfaden, ein Wollfaden (auch gedrehtes Papier), der in das Öl der Grubenlampe getaucht wird, ist unsicher.

Die beste Zündung sind die Sicherheitszündschnüre (Bickfordschen Schnüre). Dieselben werden fabrikmäßig hergestellt, indem auf einer besonderen Maschine eine Reihe von Jutefäden um eine Trichterröhre sich dreht, während gleichzeitig durch den Trichter Mehlpulver in den gebildeten Zylinder einläuft. Eine zweite Reihe von Jutefäden wickelt sich gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung herum als äußere Hülle. Bei sogenannten doppelten Zündschnüren kommt noch eine dritte Umspinnung. Sehr empfehlenswert ist die doppelte unterteerte Zündschnur, welche zwischen der zweiten und dritten Umspinnung geteert ist und längere Zeit Feuchtigkeit erträgt. Die fertige Zündschnur wird entweder geteert, oder mit einem Kreideüberzug versehen, oder

durch eine Kautschuklösung gezogen, schließlich in Längen von 8 oder 10 m geschnitten und zu Ringen aufgewickelt.

Leider hat die große Konkurrenz schon dazu verleitet, schlechte Materialien, insbesondere mit Natronsalpeter erzeugtes Pulver, zu deren Herstellung zu benutzen; es empfiehlt sich deshalb, Zündschnüre nur von vertrauenswürdigen Fabriken oder Händlern zu beziehen. Gute Zündschnüre haben eine Brenndauer von ungefähr 90 Sekunden pro Meter; versucht man ein Stück von etwa 2 m, so darf kein Spratzen (Knallen) zu hören sein; der Funke darf nicht durch die Zündschnur schlagen, und diese darf nicht fortglimmen; mehrere solcher Stücke, gleichzeitig angezündet, sollen ziemlich gleiche Brenndauer geben.

Fig. 20.

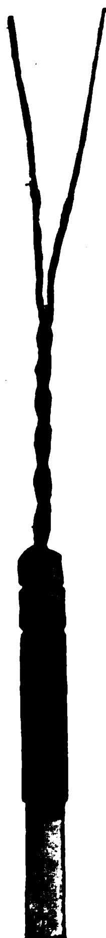


Fig. 21.



Die indirekt explodierbaren Stoffe (Dynamit u. dgl.) werden allgemein mit Zündhütchen und Zündschnur abgetan. Selten, z. B. noch in Schweden, wird an Stelle des Zündhütchens eine kleine Patrone aus Jagdpulver aufgesetzt und direkt mit Zündschnur gezündet.

Die Zündhütchen sind dünne, an einem Ende geschlossene Kupferhülsen, welche mit einem Zündsatze aus Knallquecksilber, gewöhnlich unter Zusatz von chlorsaurem Kali, teilweise gefüllt sind. Die Füllung beträgt bis zu 2 g, am meisten zu empfehlen sind die sogenannten „supérieures“ oder Nr. 5 mit 0,8 g Füllung, und Nr. 7, welche 1,5 g enthalten, werden hauptsächlich für Ammonnitrat enthaltende Sicherheitssprengstoffe verwendet. Das Knallquecksilber, ein durch die Einwirkung von Salpetersäure und Alkohol auf Quecksilber entstandenes Produkt, ist einer der brisantesten Explosivstoffe, liefert also in einem verschwindend kleinen Zeitraume einen kräftigen Schlag, welcher eben als einleitende Wirkung für indirekt explodierbare Stoffe notwendig ist. Knallquecksilber ist gegen Feuer, Schlag usw. sehr empfindlich, und die in einem Zündhütchen für Sprengzwecke enthaltene Menge ist groß genug, um den Unvorsichtigen seiner Hand zu berauben, man soll also entsprechend achtsam handhaben.

Die elektrischen Zünder (Spaltzünder) (Fig. 20 und 21) sind gewöhnliche Knallquecksilberzündhütchen, in welche eine Zündmischung (gewöhnlich Schwefelantimon und chlorsaures Kali) gefüllt ist. Ein gebogener Messingdraht wird in einer entsprechenden Form mit einer Mischung von geschmolzenem Schwefel und Glaspulver übergossen, so daß der Bug des Messingdrahtes unten vorsteht. In diesen wird mit einer Kneipzange ein feiner Spalt gemacht, der Zünderkopf dann in das Zündhütchen gesteckt und mit einer Kautschuklösung eingedichtet. General Heß verwendet direkt mit Kautschuk isolierte Doppelkabel, so daß außen keine neue Verbindung nötig ist. Die Leitungsdrähte

werden entweder in Kautschuk oder in geteerten Bändern, auf Holzstäben u. dgl. isoliert geführt. Zur Entzündung des Pulvers werden Kupferhülsen mit Zündmischung ohne Knallquecksilberfüllung genommen.

Über andere Arten elektrischer Zünder, sowie über die Mittel, die elektrische Zündung zu ersetzen, wird in dem der letzteren gewidmeten Kapitel die Rede sein.

Das Entflammen der Zündschnüre soll niemals mit der Lampe erfolgen. Bei größeren Sprengungen, z. B. in Eisenbahneinschnitten, wo oft 30 bis 40 Schüsse zugleich abgefeuert werden, wäre eine solche Entzündung auch nicht möglich.

Man bedient sich deshalb einer Lunte. Dieselbe soll sich leicht entzünden, sehr langsam brennen, und weder Funken geben, noch Asche an dem glühenden Teile absetzen, da letztere die Entzündung sehr verzögern würde. Man bereitet sich die Lunte am besten, indem man 50 g essigsaures Blei in 1 Liter Wasser löst, in der kochenden Lösung 4 m eines 13 mm dicken, fest geflochtenen Hanfzopfes oder Baumwollstrickes eine Viertelstunde lang liegen läßt, hierauf auswindet und im Schatten trocknet. Die so [1]) hergestellte Lunte (welche in der französischen Artillerie gebräuchlich war) hat eine Brenndauer von 0,160 m per Stunde, und bildet eine 1 cm lange, konische, glühende Kohle, welche einen gewissen Druck verträgt, nicht abfällt und keine Asche ansetzt. Beim Auslöschen muß man etwas von der Kohle daran lassen, sonst entzündet sich die Lunte schwer.

Eine von General Heß angegebene Anfeuerung, bestehend aus Plättchen von Sprenggelatine, welche mit kleinen Drahtstiften in die Seele der Zündschnur eingesteckt werden und, kaum mit der Lunte berührt, sicher entflammen, hat sich nicht einbürgern können, weil der Transport solcher Dinge sich sehr schwierig gestaltet, und die Arbeiter gegen jede Mehrausgabe sind. Manchmal schmieren sie auch ein wenig Dynamit an das Ende der Zündschnur, womit der gleiche Zweck erreicht wurde, allein dies ist zu verbieten, weil dadurch Dynamit in der Grube verstreut wird.

---

[1]) Désortiaux, La poudre, les corps explosifs et la pyrotechnie. Paris 1878, Dunod.

Herstellung der Minen.

1. Bohrlöcher.

a) Handarbeit. Die Herstellung der Bohrlöcher durch Handarbeit geschieht in bekannter Weise durch Bohrerstangen mit oder ohne Anwendung von Fäusteln oder Schlägeln.

Zu den Bohrern wird jetzt fast allgemein achtkantiger Gußstahl verwendet, selten findet man noch eiserne Bohrer mit gehärteten Köpfen und Bahnen. Die Form der Bohrköpfe ist fast ausschließlich der von ungarischen Bergleuten im Jahre 1749 am Harz eingeführte Meißelbohrer (Fig. 22 und 23), und nur für sehr weiches Gestein nimmt man auch Kronenbohrer (Fig. 24 bis 27). Beim Meißelbohrer soll der Winkel der Schneiden gegeneinander nicht über 70° betragen, richtet sich aber nach der Härte des Gesteines. Durch schlechte Bohrer entsteht großer Verlust an Material und Zeit, man soll deshalb der Zuschärfung und Härtung die größte Aufmerksamkeit zuwenden und stets nur Material erster Güte benutzen.

Fig. 22.



Fig. 23.

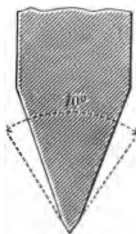


Fig. 24.



Fig. 25.

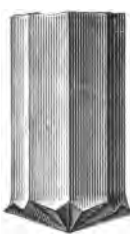


Fig. 26.

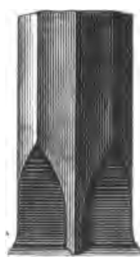
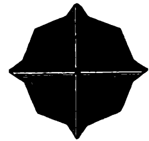


Fig. 27.



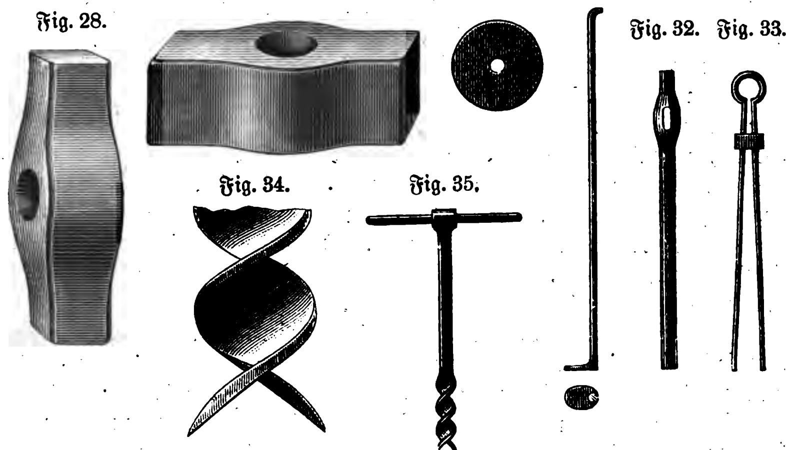
Die Breite der Schneiden ist je nach dem Gesteine, dem Sprengmittel und der Tiefe des Bohrloches verschieden. In Deutschland hat man schon versucht, für Dynamit bis auf 13 mm herabzugehen. Gewöhnlich verwendet man als kleinsten Bohrer für Pulver 26 bis 30 mm, für Dynamit 19 bis 23 mm Schneidenbreite bis zu Lochtiefen von 1 m, über diese Tiefe hinaus beginnt man

erst mit stärkeren Bohrern (bis 50 mm) und verengert dann das Bohrloch in dem Maße, als man längere Stangen einzuführen hat. Es ist zu beachten, daß das Bohrloch stets etwas weiter als die Breite der Bohrerschneide ausfällt.

Das Schmieden und Härten der Bohrer ist eine Handfertigkeit, welche viel Geschicklichkeit erfordert. Man achte, daß der Stahl nicht verbrannt werde; die beste Anlaßfarbe ist hellgelb.

Auch für Fäustel und Schlägel wird der Gußstahl immer beliebter, sobald einmal die Arbeiter sich in die richtige Art des Schlagens gefunden haben; bei Stahl auf Stahl prallt das Fäustel zurück, und deshalb sind Eisenfäustel noch sehr beliebt, allein das Stahlfäustel erfordert bei entsprechendem Schlage weniger Kraftaufwand.

Die Form der Handfäustel ist verschieden; meistens liebt man die beistehende Form (Fig. 28) nach dem Radius der Länge des Vorderarmes gekrümmt.


Fig. 28. Fig. 29. Fig. 31. Fig. 30. Fig. 32. Fig. 33. Fig. 34. Fig. 35.

Das Gewicht derselben ist gewöhnlich 2 bis 4 kg. Der Helm (Stiel) soll nicht zu lang sein, um den Arbeiter nicht zu behindern, aber auch nicht zu kurz, um noch genügend Schwung zu gestatten; 250 bis 300 mm ist eine übliche Länge.

Der Schlägel (Fig. 29) hat gerade Form und ist mindestens 5 kg schwer, sein Helm etwa 750 mm lang; zu letzterem nimmt man junge Eichen- oder Akazienäste, deren elastische Schwingungen die Arbeit erleichtern.

In Gruben wird gewöhnlich einmännisch gebohrt, d. h. der Arbeiter handhabt Bohrer und Fäustel zugleich. In Steinbrüchen und bei Eisenbahnbauten ist das zwei- und dreimännische Bohren beliebter, wobei ein Mann den Bohrer setzt und einer oder zwei die Schlägel führen. Gewisse Arbeiter (Italiener, Amerikaner) lieben das „Schlenkerbohren“ (churn drilling), wobei eine lange Bohrerstange von unten nach oben entweder durch zwei Männer von Hand in die Höhe geschwungen (geschlenkert) oder mit Schlägeln zugeschlagen wird. Bei sehr tiefen Bohrlöchern genügt das Gewicht der Bohrerstange, welche dann von zwei Mann nur gehoben und fallen gelassen wird.

Vor allem wird das Bohrloch „angebrüstet", d. h. es werden die Unebenheiten des Gesteines abgeglichen, und die erste Vertiefung zur Lage und Richtung des Bohrers hergestellt. Dann wird langsam und allmählich immer kräftiger zugeschlagen, bis der Bohrer entsprechend geführt ist. Nach jedem Schlage muß der Bohrer gedreht und etwas gehoben werden, um ein rundes Loch zu erzielen; man nennt dies das Setzen des Bohrers.

Das Bohrmehl (Schmand) muß so häufig als möglich ausgeräumt werden, um die Schlagwirkung nicht zu vermindern. Hierzu dient der Raumkrätzer (Fig. 30), dessen breites Ende einen Löffel bildet, während die obere, etwas gebogene Spitze zum Umwickeln von Lappen, Werg usw. behufs Trocknung des Bohrloches benutzt wird.

Wo nur möglich, wird naß (unter Eingießen von Wasser) gebohrt, weil hierdurch die Bohrer kühl gehalten werden und das Bohrmehl den Schlag weniger hindert, auch die Lungen der Arbeiter nicht angreift. Um das Herausspritzen zu vermeiden, gibt man einen Strohkranz um den Bohrer, besser aber eine durchlöcherte Guttaperchascheibe (Fig. 31).

Ist das Bohrloch fertig, so wird es gründlich gereinigt und getrocknet. Mit Pulver zu ladende Bohrlöcher müssen nicht nur mit Lappen oder Werg ausgewischt werden, sondern man führt gewöhnlich noch einige Schläge auf den Bohrer, um mit dem entstandenen Bohrmehle den Rest von Feuchtigkeit aufzunehmen, und wenn das Gestein klüftig oder durchlässig ist, so verschmiert man das Bohrloch mit Letten. Hierzu benutzt man den Trocken- oder Lettenbohrer, eine runde, glatte Stange mit Öhr (Fig. 32), in welches ein Handgriff zum Drehen eingesteckt wird. Nützt auch das Verschmieren des Bohrloches nicht, so muß man zu wasserdichten Patronen greifen.

Abgebrochene Bohrer werden mit der Schere (Fig. 33) herausgeholt, oder man läßt die Schlinge einer Schnur mit einem zweiten Bohrer auf das abgebrochene Stück gleiten und trachtet durch Anziehen der Schlinge das Bohrerstück herauszuheben.

b) Maschinenarbeit. Gewissermaßen einen Übergang von der Handbohrung zur Maschinenbohrung bilden jene Schneckenbohrer (Fig. 34 und 35), welche in weicher Kohle sehr häufig verwendet werden und eine rasche billige Arbeit gestatten.

Die erste eigentliche Bohrmaschine dürfte die von John Singer in Chicago gewesen sein; den stärksten Anstoß zum Bau von Bohrmaschinen gaben jedoch die großen Tunnelbauten, welche mit der Ausdehnung der Eisenbahnen notwendig wurden. Professor Dr. Colladon in Genf mit seinen jahrelang fortgesetzten Studien über gepreßte Luft hat die Verwendung von pneumatischen Bohrmaschinen überhaupt erst möglich gemacht, und die Ingenieure Sommeiller, Grattoni und Grandis haben hiervon erfolgreich Nutzen ziehen können. Die Sommeillersche Bohrmaschine beim Bau des Mont-Cenis-Tunnels war die erste, im großen angewendete, und die Erfahrungen mit derselben haben als Grundlage für den Bau der späteren gedient.

Von eigentlichen Bohrmaschinen unterscheidet man solche für stoßendes oder für drehendes Bohren, und von jeder dieser Arten solche für Handarbeit oder für Kraftbetrieb.

Bohrmaschinen, bei welchen zwei Spiralfedern mittels Schwungrad und Exzenter gespannt werden, und die durch einen Bremskopf beim Anhube lose gehaltene Bohrerstange mit großer Heftigkeit niedertreiben, wobei das Drehen durch den einseitigen Angriff der Daumen bewirkt ist, wurden zuerst von John Singer, später auch von C. Gronert in Berlin gebaut. Sie haben sich nicht bewährt, weil die zur Geltung gelangende Kraft zu gering ist.

Es würde zu weit führen, wollte ich alle Systeme von Bohrmaschinen näher besprechen, welche auf der Anwendung von Dampf oder gepreßter Luft beruhen. Ich begnüge mich deshalb, einzelne derselben zu erörtern, welche entweder als Vertreter einer bestimmten Gattung erscheinen, oder im allgemeinen besonders zweckmäßig eingerichtet und viel verwendet sind.

Von einer mechanischen Bohrmaschine verlangt man, daß sie geringen Raum einnehme, leicht beweglich und in alle Richtungen verstellbar sei, daß die Ein- und Ausströmung der Preßluft (Dampf), sowie das Setzen des Bohrers selbsttätig erfolge, daß sie kräftige Wirkungen auszuüben gestatte und möglichst wenig bewegliche oder empfindliche Teile habe. Viele ziehen das Vorschieben der Maschine von Hand vor.

Die „Sergeant"-Bohrmaschine kann als Typus derjenigen mit Schiebern genommen werden, wie sie sich allmählich aus denen von Burleigh herausbildeten. In neuerer Zeit haben die Erzeuger derselben, die Ingersoll Sergeant Rock Drill Company, ein Hilfsventil hinzugefügt, um eine Hubänderung zu ermöglichen. Die Konstruktion dieser „Sergeant"-Bohrmaschine mit Hilfsventil ist aus Fig. 36 (s. Tafel I) zu ersehen. Ein Stempel, welcher die Bohrstange trägt, bewegt sich in einem Zylinder. Dieser Stempel ist in der Mitte ausgespart. Oberhalb des Stempels ist die Ventilkammer, vom ersteren durch eine Platte getrennt, welche eine in den Zylinder vorspringende Knagge trägt. Diese Knagge hat eine kreisbogenförmige Nut, in welcher ein schwachgewölbtes Stahlstück, mit entsprechenden Kanälen versehen, sich bewegt. Wenn der Stempel sich vorwärts bewegt, so wird das Stahlstück durch den dickeren Teil des Stempels erfaßt und entweder vorwärts oder rückwärts geworfen. Dadurch bewegt es den Schieber und läßt Preßluft entweder in das vordere oder das rückwärtige Ende des Stempels treten. Innerhalb des Stempels ist eine Spiralstange mit einem Zahngetriebe am oberen Ende beweglich. Bei jedem Zuge bewirkt diese Spiralstange eine leichte Drehung des Stempels. Der Vorschub der Bohrmaschine wird durch die lange Schraube und Kurbel bewirkt.

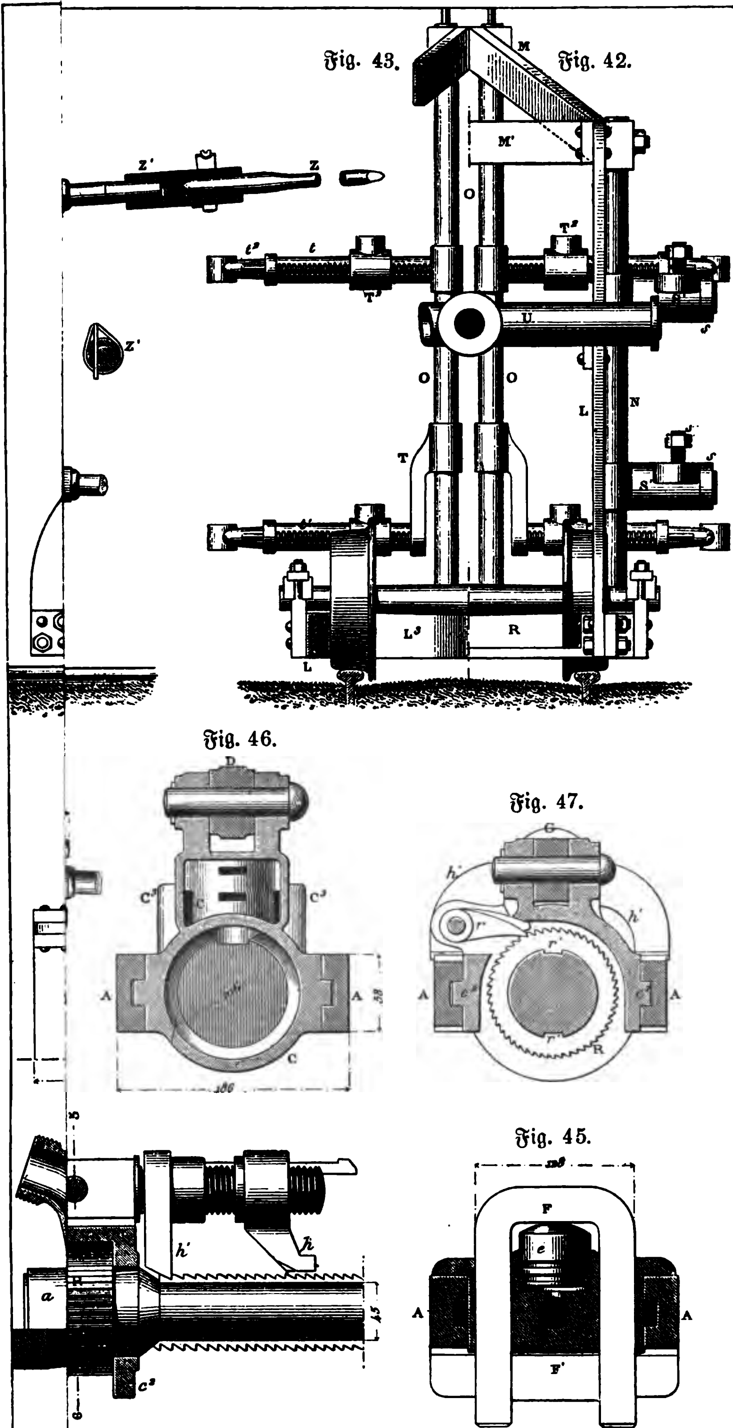
Die „Daw"-Bohrmaschine, Fig. 37 (Taf. I), welche von A. u. Z. Daw in London erzeugt wird, hat eine ähnliche Konstruktion.

Eine ähnliche, häufig benutzte Bohrmaschine ist die von Holman Brothers in Camborne (Fig. 38, Taf. I). Die Bohrerstange hat hier eine Wulst *p*, welche abwechselnd an das eine oder andere Ende der Doppelknagge *o* anstößt und damit den Schieber *n* bewegt, so daß die Luftkanäle für Vor- oder Rückwärtsgang frei werden.

Der Ingersoll-Maschine ähnlich gebaut, entweder mit oder ohne selbsttätige Vorschubvorrichtung, sind die Bohrmaschinen von Burleigh, Sachs, Rand, Wood, Allison, Dubois-François, Schramm-Mahler, Fröhlich, Cranston usw.

Die „Optimus“-Compound-Bohrmaschine (Patent Ogle), erzeugt von Schram, Harker u. Co., London, ist in Fig. 39 (Tafel I) abgebildet. Der Zylinder *a* hat einen erweiterten Teil a_1, und dementsprechend ist der Stempel *c* bei *g* verdickt. Die Luft tritt durch den Kanal *b* in den Zylinder *a*, während Zylinder a_1 mit der Außenluft durch die Kanäle *m* und *h* verbunden ist. Wenn der Stempel vorwärts eilt und den Kanal *d* verläßt, so tritt Luft in den Ventilzylinder *r*, wirkt daselbst auf eine größere Fläche wie bei *l* und bewegt den Ventilstempel *e* vorwärts, wodurch die Verbindung mit *a* abgeschnitten und die zwischen *a* und a_1 hergestellt wird. Die Luft wirkt nun auf die größere Oberfläche von *g* und bewegt dadurch den Stempel zurück, an dem Kanal *d* vorüber, und dann ist der Zylinder *r* mit der Atmosphäre in Verbindung durch die Kanäle *d* und h_1, wodurch das Ventil *f* zurückbewegt wird.

Die Bohrmaschine System Ferroux, gebaut von Chas. Delisle in Evian-les-Bains, welche beim Gotthardbahnbau und später beim Arlbergtunnel verwendet wurde, ist mit eine der besten, weil sie ohne empfindliche Teile ganz selbsttätig arbeitet und starke Schlagwirkungen ermöglicht. Sie besteht (Fig. 40 bis 47, s. Tafel II) aus dem Rotgußzylinder *C*, dem Stahlkolben *P*, der Vorschubvorrichtung *B* und der Setzvorrichtung *R*. Die Luft tritt bei *b* ein, geht durch die mit dem Zylinder verbundene hohle Stange *E* und den seitlich angegossenen Luftkanal c^3 in die Luftkammer c^4. Der doppelt konisch geformte Kolben *P* hebt beim Rückgange den Kolbenschieber *d'*, dessen Eintrittsbohrungen dadurch mit der Luftkammer verbunden sind, während die Austrittsbohrungen geschlossen bleiben. Der Kolbenschieber *d* geht indes, durch den Druck auf den zweiarmigen Hebel *D* gezwungen, hinab und läßt die Luft unter dem Kolben herausströmen. Das Umgekehrte ist dann beim Vorschleudern des Kolbens der Fall. Der im Puffer c^1 und der Stopfbüchse c^2 geführte Kolben hat zwei schraubenförmige Nuten r^1, welche in ein gleiches Muttergewinde des Sperrrades *R* greifen; die Umsetzung erfolgt dann in bekannter Weise durch die Sperrklinke *r*. Der Vorschub geschieht in nachstehender Art. An den die Bohrmaschine führenden Trägern *A* ist ein Rotgußzylinder *b* mit sechs Zapfen befestigt, welcher das Lufteintrittsrohr *b* trägt. In dem Zylinder *B* spielt ein zweiter *B'*, welcher oberhalb einen Kolben trägt, und in diesem ist wieder die hohle Kolbenstange *E* geführt, welche mit dem Zylinder *C* verbunden ist. Der Rückstoß trachtet nun stets den Zylinder zurückzuschieben. Daran ist er durch ein Messer *F'* verhindert, welches in einen Bügel *F* gelegt ist, und in die untere Verzahnung des Gestelles *A* greift; ein kleiner Kolben *e* wird durch den Luftdruck gegen den Bügel *F* gehoben und hält das Messer fest. Andererseits trachtet der Luftdruck auf die Kolben *B* und *B'* den Zylinder stets vorwärts zu schieben. Es führt deshalb ein kleiner Luftkanal *g* unter einen Kolben g^1, welcher den zweiarmigen Hebel *A* und damit die Klauen h^1 gegen die obere Verzahnung am Gestelle drückt. Der Zylinder ist dadurch im Gestelle festgehalten. Schlägt nun beim Vorschreiten der Bohrung das konische Ende der Kolbenstange gegen die stellbare Klinke *h*, so werden die Klauen h^1 gehoben und der Zylinder schiebt sich selbsttätig um einen Zahn des Gestelles vor.



Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

Der Ferroux-Maschine ähnlich ist die von McKean, und auch einige Anordnungen der Woodschen Maschine sind in ihr vereinigt.

Innerhalb der letzten Jahre hat die Elektrizität begonnen, eine wichtige Rolle im Bergbau zu spielen, und wurde natürlich auch für Bohrmaschinen herangezogen. Die von Siemens u. Halske verkaufte Bohrmaschine ist in Wirklichkeit den Handbohrmaschinen ähnlich, in welchen die Bohrstange durch eine kräftige Feder vorwärts geschleudert wird. Natürlich wird dieselbe durch einen elektrischen Motor bewegt.

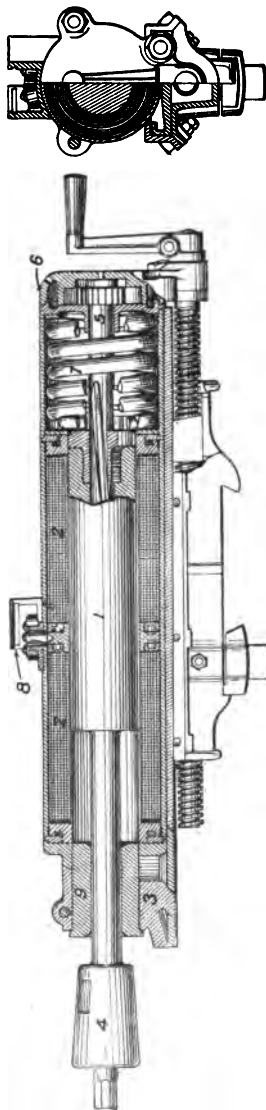


Fig. 48.

Eine wirkliche elektrische Bohrmaschine ist die „Marvin-Sandycroft"-Bohrmaschine, welche in Fig. 48 abgebildet ist. Der Stahlstempel 1 wird von zwei Drahtspulen 2 umgeben und hat auch den üblichen Bohrkopf 4. In dem Maße, als die Spulen abwechselnd erregt werden, zieht der Magnetismus derselben den Stempel vor- und rückwärts. Die Maschine hat die übliche Spiralstange 5 mit Zahnbetrieb. Eine Bufferfeder 7 nimmt den Stoß nach rückwärts auf.

Eine gute Handbohrmaschine für drehendes Bohren ist die von der Maschinenbau-Aktiengesellschaft, vormals Breitfeld, Daněk u. Comp. in Prag gebaute Reškasche Bohrmaschine (Fig. 49 bis 53). Auf einem Gestelle ist, durch die Schrauben *a* und *b* nach allen Richtungen verstellbar, das Bohrgehäuse *A* befestigt. In demselben sind zwei hohle Wurmräder *B*, welche in die Bohrerspindel *C* eingreifen, wenn die in dieselben eingesetzten Spannringe *D* durch den mit Schraube *c* weiter oder enger zu stellenden Flügelkeil *E* gegen die Wurmräder pressen. Damit ist auch die Geschwindigkeit, unter Umständen Festklemmung der Schraubenspindel, gegeben. Durch Drehen mit einer Handkurbel an der Achse *d* des einen Wurmrades kann der Bohrer rasch herausgezogen werden. Der Bohrer ist ein Schneckenbohrer aus Stahl und wird mit seinem vierkantigen Kopfe einfach in die Bohrspindel gesteckt.

Es ist begreiflich, daß drehende Handbohrmaschinen nur in weichem Gesteine (Kohle, Sandstein) verwendet werden können, weil die hierbei anzusetzende Kraft

Fig. 49.

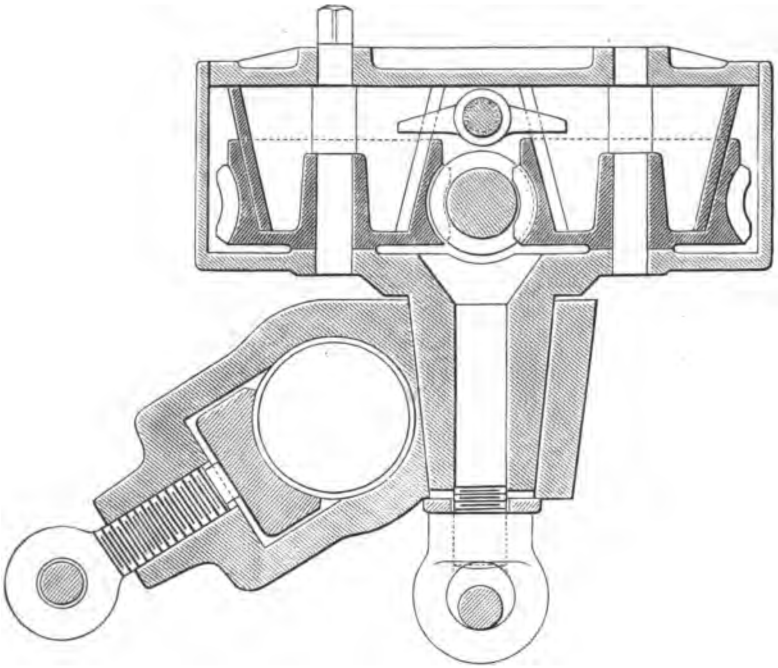
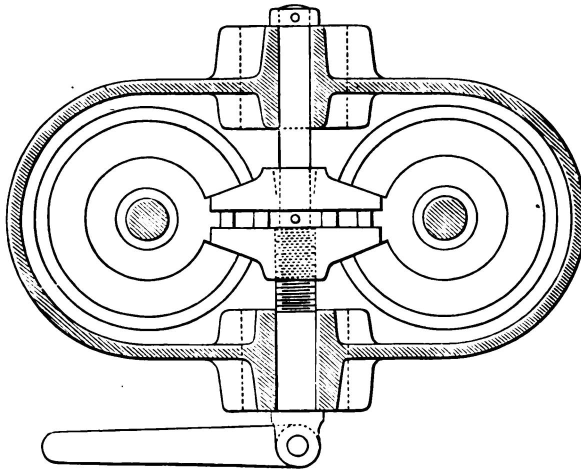


Fig. 50.



nur gering ist; in mildem Gesteine aber ist ihre Leistung vorzüglich und den stoßenden Maschinen weit überlegen, deren Kraft durch die Elastizität des Gesteines und den massenhaften Bohrschmand zu viel aufgehoben wird.

Eine andere Handbohrmaschine, hauptsächlich für festeres Gestein bestimmt, wurde von E. Jarolimek erdacht. Sie ist im Prinzipe der später zu besprechenden, durch eine Wassersäulenmaschine angetriebenen Bohrmaschine gleich

Fig. 51.

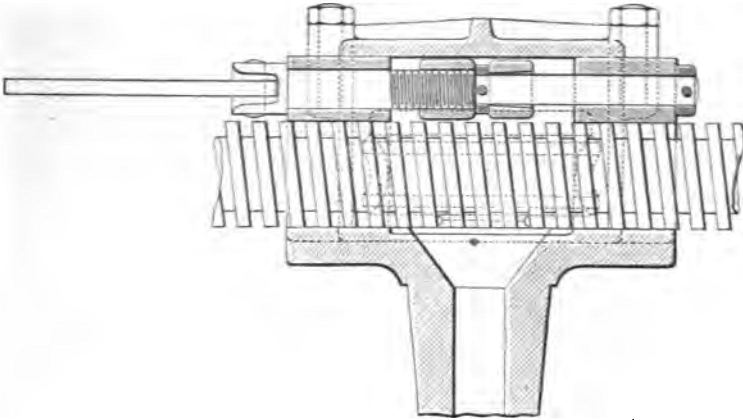
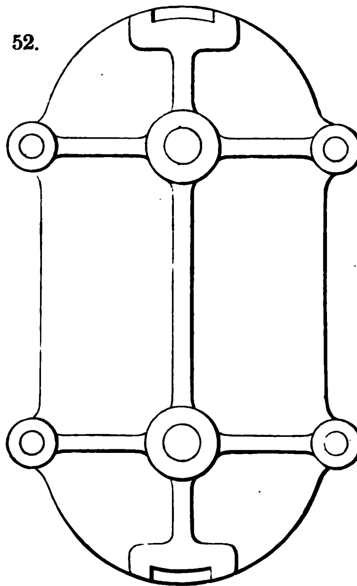


Fig. 52.



gebaut, jedoch ist sie weniger in Verwendung gekommen, weil die drehenden Bohrer im harten Gesteine nicht unter eine gewisse Grenze herab gebracht werden dürfen, ohne sie dem Verbiegen auszusetzen, und bei kleinen Arbeiten, wie Stollen- und Schachtbetrieben, die Herstellung von 50 mm weiten Bohrlöchern nicht immer ökonomisch ist.

Von mechanischen Bohrmaschinen für drehendes Bohren ist die hervorragendste die am Gotthard und Simplon verwendete Brandtsche Bohrmaschine, welche von Gebrüder Sulzer in Winterthur gebaut wird und in Fig. 54 und 55 auf Tafel III dargestellt ist. Die Bohrstange ist an dem hohlen Stempel *N* befestigt, welcher an dem unbeweglichen Differentialstempel sich entlang bewegt. Druckwasser tritt durch die Verbindung *A* in die Einlaufkammer und durch die Drosselklappe *C* und den Dreiweghahn *D* entweder hinter den unbeweglichen Stempel *U* oder in den ringförmigen Raum zwischen *N* und *U*, wodurch die Bohrstange vorwärts oder rückwärts bewegt werden kann. Das Wasser läuft durch den Hahn *D* ab. Die Bohrstange wird durch zwei gekuppelte Zylinder *E* und *F* gedreht, welche durch den Hahn *B* Wasser zugeführt erhalten. Durch

Fig. 53.

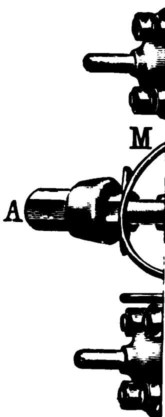


die zwei kreuzförmig angeordneten Kanäle steuern die zwei Stempel sich gegenseitig um, und sie drehen das Schraubenrad *R* und das Zahnrad *S*, welche auf dem Gehäuse *T* befestigt sind. Auf diese Weise wird das Bohrwerk gedreht und zugleich fest gegen das Gestein angepreßt. Wasser wird vermittelst des Rohres *K* in die hohle Bohrstange eingeführt, um dieselbe zu kühlen und zugleich das Bohrloch auszuspülen.

Die Brandtsche Bohrmaschine arbeitete auf dem Simplon mit einem Drucke von 72 bis 90 Atmosphären und verbrauchte $1^1/_2$ bis 2 Liter Wasser per Sekunde. Bei jeder Attacke wurden 7 bis 12 Bohrlöcher von 8 cm Durchmesser und 1,20 m bis 2 m Tiefe gebohrt. Der Verbrauch an Bohrern pro Bohrloch war 4 bis 7, der von Dynamit 2,90 bis 5,50 kg. Jeder Bohrer machte im Durchschnitt ein Loch von 1 m Tiefe in 24 bis 58 Minuten,





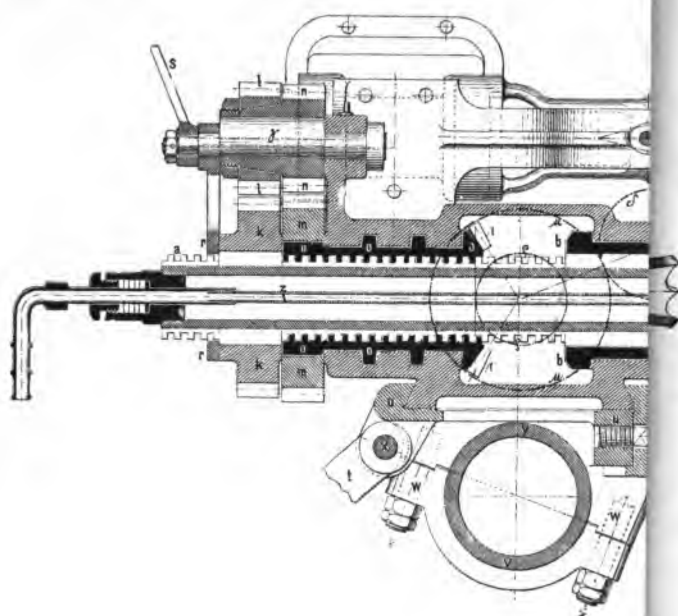




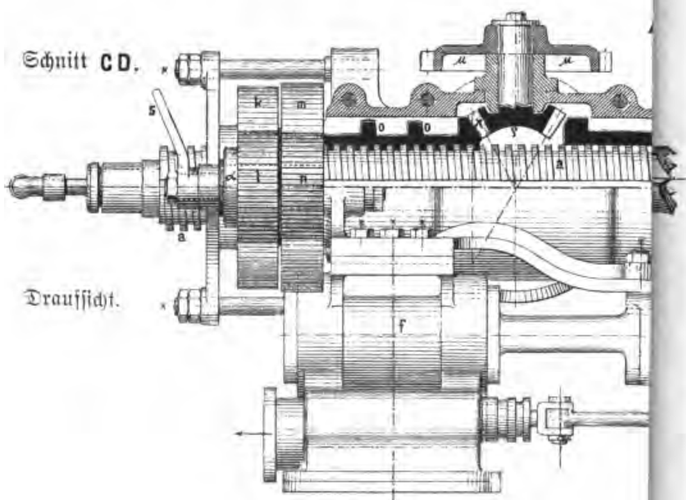
Guttman

Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

Tafel IV. Zu S. 45.



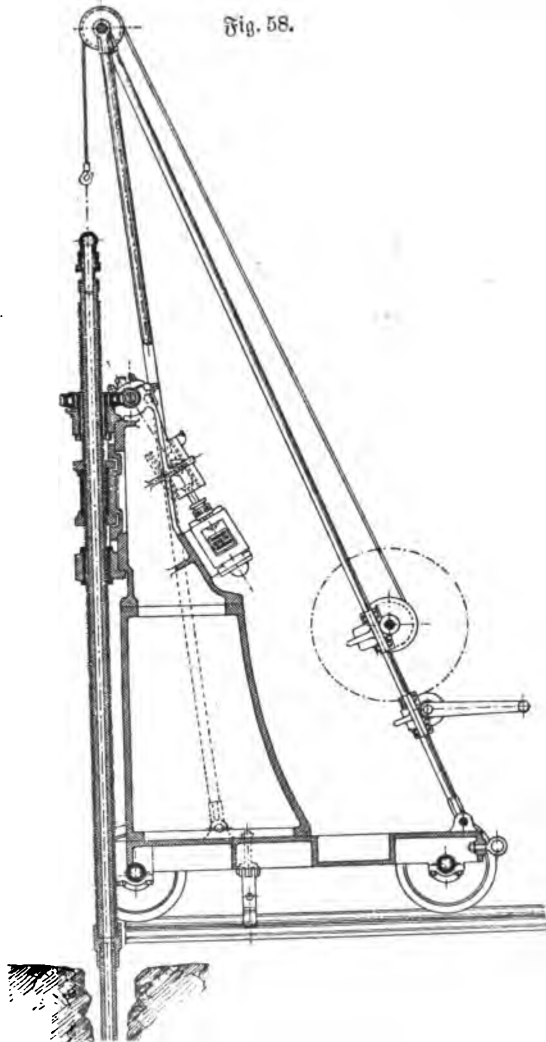
Schnitt CD.



Draufsicht.

und die für jede Attacke erforderliche Zeit war für die Bohrarbeit zwischen 2 Stunden und 3 Stunden 24 Minuten, für das Aufräumen zwischen 2 Stunden und 5 Stunden 12 Minuten.

Die Drehbohrmaschine von E. Jarolimek (Fig. 56 u. 57, s. Tafel IV) (gebaut durch G. Topham in Wien) besteht aus der hohlen Schraubenspindel *a* mit zwei einander gegenüberstehenden Längsnuten *c*, in welche der Mitnehmer *e* eingreift. Ein Wassersäulenmotor *f* (System Mayer) dreht die Schnecke *h* (bis zu 415 Umdrehungen in der Minute), und diese wieder durch das auf dem Mitnehmer befestigte Wurmrad *g* die Schraubenspindel *a*. Ein Differentialgetriebe *kl* und *mn* bewegt die Schraubenmutter *o* nach vorwärts; das Getriebe *kl* kann zur Erzielung größerer oder geringerer Geschwindigkeiten ausgewechselt werden. Schaltet man die auf einer exzentrischen Welle γ sitzenden Getriebe *l* und *n* aus (durch Drehung des Hebels *s* und Einschaltung des Getriebes δ), so wird die Schraubenspindel durch die Kegelzähne π und die Getriebe μ, ϱ, δ und σ in umgekehrte rasche Drehung versetzt und somit herausgezogen. Durch das Rohr *z* und das Gestänge tritt Spülwasser in das Bohrloch. Die Bohrmaschine ist auf dem Teller *u* und um die Spannsäule *v* drehbar befestigt.


Fig. 58.

Eine ähnlich konstruierte Maschine für Dampfbetrieb (Fig. 58) wurde von G. Topham für die Arbeiten am Kanale von Korinth gebaut, wo sie

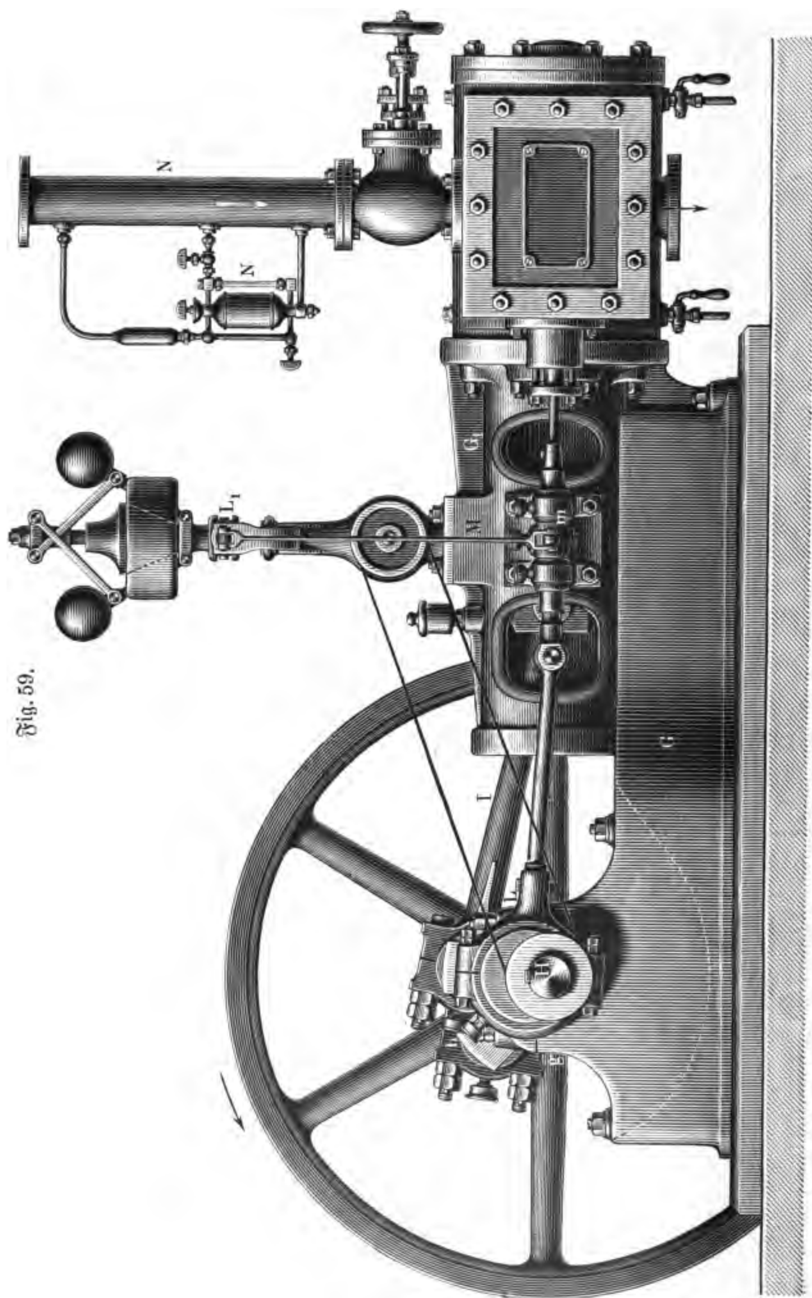


Fig. 59.

vertikale Bohrlöcher von 60 m Tiefe und 95 mm Durchmesser in fester Kreide innerhalb 9 bis 10 Stunden herstellte.

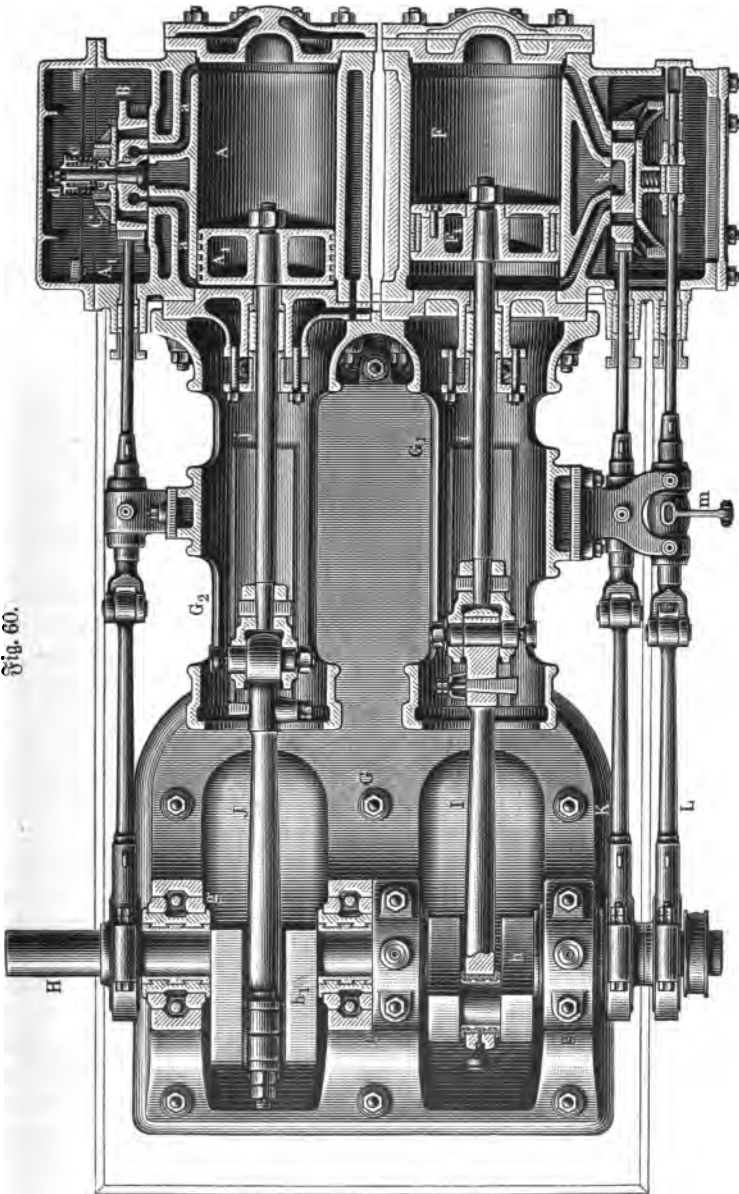


Fig. 60.

Die zu den Stoßbohrmaschinen nötige Kraft liefern Dampfkessel oder Luftkompressoren. Der Betrieb mit Dampf wird nur in Steinbrüchen und in

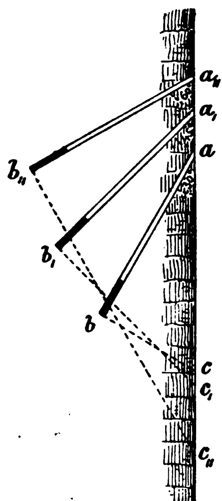
Europa nur selten angewendet, weil in den Leitungen durch Kondensation großer Verlust entsteht, das Arbeiten unerträgliche Hitze entwickelt und auch die Bohrmaschinen selbst in diesem Falle besonderer Vorkehrungen bedürfen. Die Arbeit mit Luftkompressoren hat die großen Vorteile, daß der Druckverlust äußerst gering ist, und die aus den Bohrmaschinen strömende gepreßte Luft in hohem Grade zur Lüftung beiträgt. Am Gotthardtunnel wurde eine Druckverminderung von nur 0,63 Atm. bei 5,63 Atm. Anfangsdruck und 5362 m Rohrleitung von 0,20 und 0,15 m Durchmesser festgestellt.

Die Beschreibung der Dampfkessel- und Kompressorensysteme liegt außerhalb des Rahmens dieses Buches. Ich begnüge mich deshalb damit, in den vorstehenden Fig. 59 und 60 die Abbildung eines Kompressors von Burckhardt und Weiß in Basel zu bringen, welcher zu den besten seiner Art zählt. Derselbe besitzt Schiebersteuerung und gibt bis zu 95 Proz. Wirkungsgrad.

2. Anlage der Bohrlöcher.

Die richtige Anlage der Bohrlöcher ist eine wesentliche Bedingung für das gute Ergebnis der Schüsse. Es ist natürlich vor allem nötig, daß man genügende Erfahrung besitze über die Natur des Gesteines, über die Art, wie dessen Schichten streichen, über die innerhalb desselben etwa vorkommenden Spalten und Risse usw.

Fig. 61.



Betrachten wir nun vor allem das Sprengen aus dem Vollen. Es seien ab, $a_I b_I$, $a_{II} b_{II}$ (Fig. 61) drei unter 30°, 45° und 60° geschlagene Bohrlöcher, so sollten denselben, da die Widerstandslinie bei gestreckten Ladungen sich rechtwinkelig zum Bohrloche gegen die freie Fläche zu befindet, die Wirkungssphären bc, $b_I c_I$, $b_{II} c_{II}$ entsprechen. Wie man später sehen wird, ist jedoch nur bei einem unter 45° geschlagenen Bohrloche — vorausgesetzt, daß es nicht überladen wurde — die mögliche Widerstandslinie gleich der Bohrlochslänge, das Bohrloch ab würde also nicht vollständig ausgenutzt, das Bohrloch $a_{II} b_{II}$ aber nur einen kleinen Trichter auswerfen.

Daraus folgt, daß Bohrlöcher im Vollen, sogenannte Einbruchsminen, unter keinem größeren Winkel als 45° geschlagen werden sollen. Nachdem jedoch Einbruchsminen einer sehr großen Ladung benötigen, wegen der hohen Verspannung des Gesteines aber nur eine verhältnismäßig geringe Tiefe erhalten dürfen, in welcher dann wegen des erforderlichen Besatzes die Ladung nicht immer untergebracht werden kann, so muß der Winkel des Bohrloches um so kleiner werden, je härter das Gestein ist.

Bei der Sprengung gegen mehrere freie Seiten lege man das Bohrloch stets möglichst parallel mit der längsten freien Seite an. Man kann so das

Bohrloch am tiefsten machen und dabei verhältnismäßig am wenigsten Sprengstoff verbrauchen. Um die Ladung gut auszunutzen, muß auf die Form der freien Seiten, und damit auf die (längste) Widerstandslinie gebührende Rücksicht genommen werden.

Es seien die gewöhnlich vorkommenden Fälle im nachfolgenden erläutert.

An senkrechten oder freien Felswänden (Fig. 62) macht man das Bohrloch senkrecht, weil der Schuß dann nicht das Gewicht der Gesteinsmasse heben muß, diese vielmehr nachfällt, also weniger Nacharbeit ist. Man legt das Bohrloch parallel zur freien Fläche an; in diesem Falle ist *w* die Widerstandslinie, *ae* der wahrscheinliche Trichter.

Ist die Felswand unterschrämmt (Fig. 63) oder sonst am Fuße frei, so muß das Bohrloch tunlichst weit vom freien Fuße entfernt bleiben, was durch die Trichterform der Sprengwirkung (s. später) sich erklärt. Gewöhnlich gibt

Fig. 62.

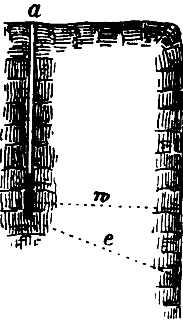


Fig. 63.

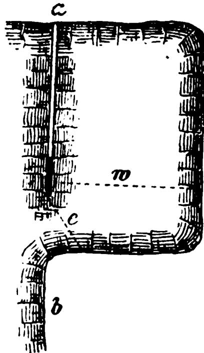
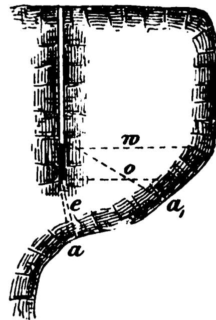


Fig. 64.



man dem Bohrloche $^3/_4$ der Höhe des Felskopfes zur Länge. Es darf nicht hinter die untere Wand *b* zu liegen kommen, sondern muß mit ihr in einer Linie geschlagen werden.

Ist die unterschrämmte Felswand gegen die freie Seite hin nicht flach, sondern von unregelmäßiger Gestalt (Fig. 64), so gilt als Widerstandslinie stets die längste, auf irgend einen Punkt der Ladung gegen jene freie Fläche gefällte Senkrechte, in deren Richtung die Wirkung beabsichtigt ist; im Falle der Fig. 64 ist die Widerstandslinie demnach *w* und nicht *o* oder *e*. Die Ladung hat nämlich den Widerstand dort zu überwinden, wo er am größten ist, wenn das gewünschte Ergebnis voll erreicht werden soll. Würde man *e* als Widerstandslinie annehmen, wie dies sonst meist geschieht (nämlich die kürzeste Widerstandslinie), so fiele nicht die ganze Wand herab, und ein Trichter aa_1 wäre die Folge. Dagegen kann man im vorliegenden Falle das Bohrloch kürzer machen, weil die der Vorgabe entsprechende Ladung gegen den unterschrämmten Fuß hin weniger Widerstand findet. Das Unterschrämmen ist also nur insofern, damit aber wesentlich von Einfluß, als es gestattet, das Bohrloch kürzer zu machen (dadurch die Ladung zu verringern) und eine freie Seite mehr bietet.

Einer der häufigsten Fälle, insbesondere im Bergbau, ist der, wo gegen eine nach oben verspannte Felswand gearbeitet wird, deren Fuß unterschrämmt ist (Fig. 65). Es ist selbstverständlich, daß auch hier das Bohrloch parallel zum Schramm zu führen ist, und nicht hinter die Fußwand f, sondern gewöhnlich nur auf $^3/_4$ bis $^4/_5$ der Schrammtiefe. Wäre das Bohrloch nach abwärts

Fig. 65.

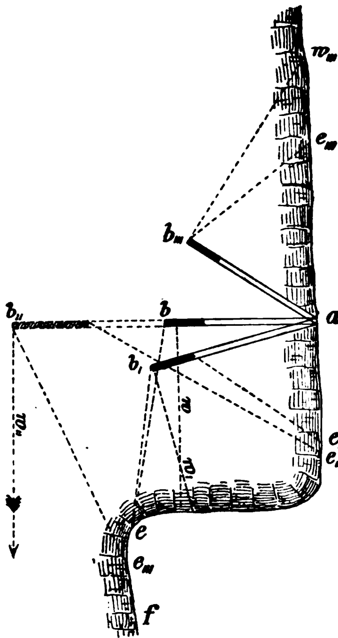
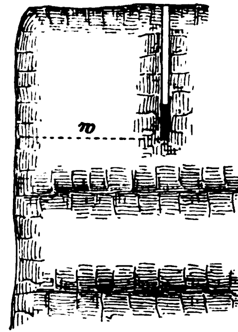


Fig. 66.



geneigt, ab_I, so müßte es länger werden, wenn die der Vorgabe w_I entsprechende Ladung noch bis an den Fuß f hin wirken soll, in diesem Falle wird aber das Ergebnis gegen e_I kleiner werden. Macht man das Bohrloch hinter den Fuß f, also z. B. von der Länge ab_{II}, so fällt die Widerstandslinie in das Volle, die Ladung wird also den kürzesten Weg wählen und in der Ecke ein ungenügendes Stück $e_{II}e_{III}$ heraussprengen. Wird das Bohrloch nach aufwärts gerichtet, ab_{III}, so fällt die Widerstandslinie in die Richtung w_{III}, der Schuß arbeitet also wie aus dem Vollen, und die Wirkung wird gering sein. Es ergibt sich also deutlich, daß das Bohrloch parallel zur freien Fläche und in keinem Falle länger als diese, vielmehr $^1/_5$ bis $^1/_4$ kürzer sein muß, je nach der Festigkeit des Gesteines.

Die Schichtung und Klüftung des Sprengkörpers sind gleichfalls von Einfluß auf die Anlage des Bohrloches und die Wirkung der Ladung.

Sind die einzelnen Schichten mächtig, so kann man das Bohrloch so niedertreiben, daß es sich in der gleichen Schichte befindet (Fig. 66). Da die Schichtungsflächen (Ablösungen, Lassen) nur in losem Zusammenhange mit der Hauptmasse stehen, so kommen sie nahezu einer freien Fläche gleich; man darf deshalb das Bohrloch nicht bis auf die Ablösung niedertreiben und kann die Ladung etwas vermindern.

Fallen die Schichten schräg ein (Fig. 67), so hat der Schuß etwas weniger zu arbeiten, weil das Gestein durch sein Eigengewicht im Augenblicke der Trennung herabzufallen strebt. Sind die Schichten dünn, so muß das Bohr-

loch parallel mit ihnen in die mächtigste so getrieben werden, daß es ganz in festem Gesteine liegt (Fig. 68). In die Ablösung selbst darf man keineswegs bohren, und ebensowenig soll das Bohrloch senkrecht durch mehrere Schichten gehen, weil daraus nur eine mehr oder weniger starke Erschütterung des Gesteines entstände; es würde nur „geschreckt", weil die Explosionsgase ihren Weg durch die Klüfte nähmen, ehe sie voll zur Geltung gelangten.

Fig. 67.

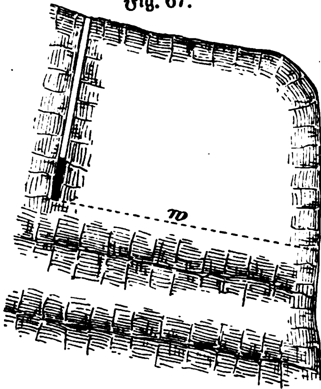
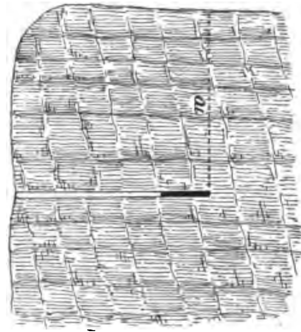


Fig. 68.



Ist das Gestein kurzklüftig oder schieferig, so wird die Sprengarbeit nur zur Erleichterung der Handarbeit dienen können, da sie dann nur bei verhältnismäßig stärkeren Ladungen vollständig „abheben" kann.

Fig. 69.

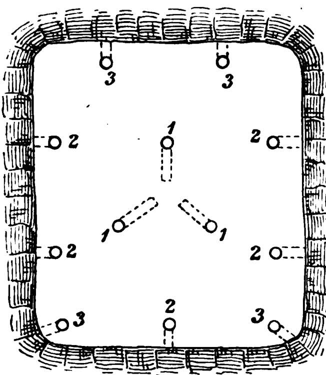
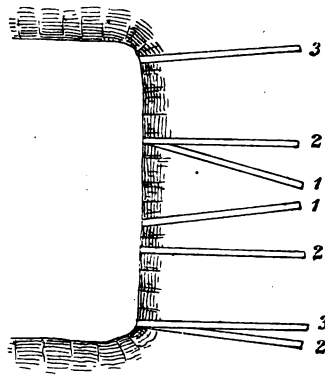


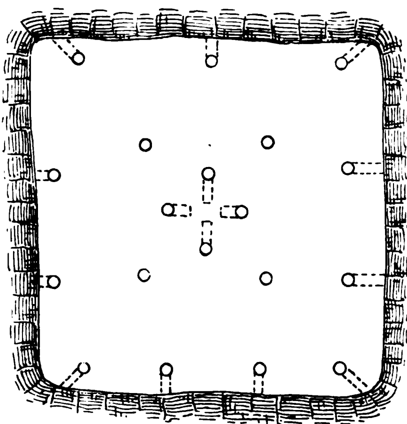
Fig. 70.



Wo nicht schon von vornherein durch einen Schramm oder durch Untersprengung eine zweite freie Fläche gegeben ist, beginnt man mit einem oder mehreren sogenannten Einbruchsschüssen 1, 1, 1 (Fig. 69 und 70), deren Zahl sich aber nach der Größe des Arbeitsortes und der Härte des Gesteines richtet. Die Einbrüche werden konvergierend angelegt, möglichst weit voneinander beginnend, um große freie Flächen zu gewinnen, andererseits aber auch möglichst tief, um den Ausweitungsschüssen 2, 2 und 3, 3, 3, 3 größere Arbeits-

fläche zu geben. Gewöhnlich läßt man die Einbruchslöcher nicht zusammenstoßen, um auch an der Sohle der Löcher breiten Abbruch zu erzielen.

Fig. 71.



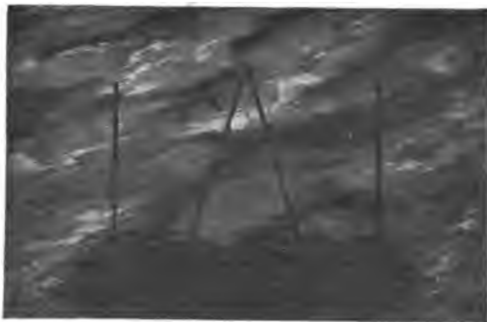
Die Anzahl und die Anordnung der Ausweitungslöcher richtet sich nach dem Profil der Arbeitsstrecke und nach der Kraft des Sprengmittels. Die Ecken des Arbeitsortes müssen natürlich als stärker verspannt gelten, man muß also trachten, diese Verspannung möglichst aufzuheben. Es geschieht dies am besten, indem man nach den Einbruchsschüssen zuerst die Mittelschüsse 2, 2, 2 abtut, so daß die Seitenschüsse 3, 3, 3, 3 mehr freie Seiten vorfinden. An der Firste ist der Ausbruch etwas leichter, und die Raumverhältnisse in solchen Arbeitsorten bedingen es, daß die Ausweitungslöcher etwas ansteigen müssen; man trachte aber, diese Neigung so klein als möglich zu machen.

Fig. 72.



Ist das Profil des Arbeitsortes größer, so legt man die Erweiterungsschüsse konzentrisch um die Einbruchsschüsse an (Fig. 71).

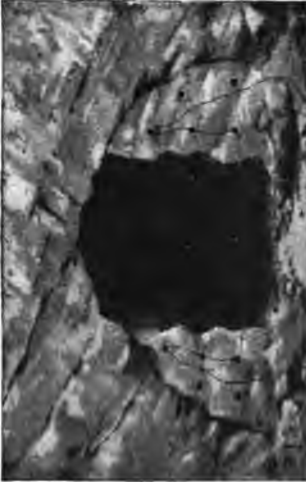
Fig. 73.

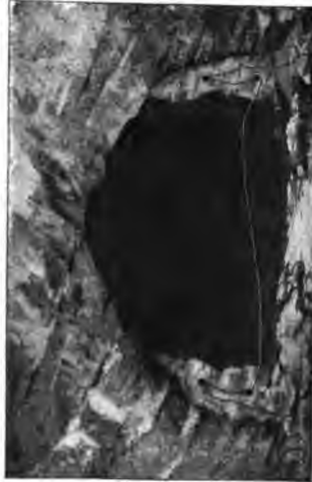


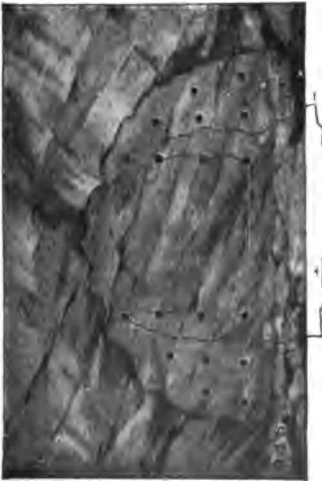
Erfolgt die Zündung elektrisch, so tut man die Schüsse in der Reihenfolge der Zahlen ab. Zündet man mit der Schnur, so macht man diese bei jenen Löchern etwas kürzer, welche zuerst abgehen und den anderen vorarbeiten sollen. Dadurch kann man die Ladung der später abgehenden Schüsse geringer nehmen.

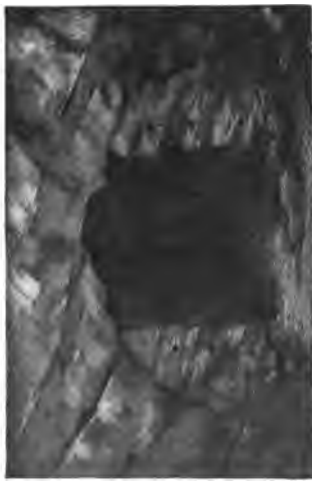
Als Maß für die Entfernung von Bohrloch zu Bohrloch nimmt man zweckmäßig die Länge der Widerstandslinie, vorausgesetzt, daß man die Ladung

richtig bestimmte. Bei der elektrischen Zündung kann wegen des Aufeinanderwirkens der Schüsse diese Entfernung mehr als das $1^1/_2$ fache der Widerstandslinie betragen. Natürlich wird diese Regel in der Praxis einige Veränderungen erleiden; je nach der Härte des Gesteines, seiner Klüftigkeit, der Verhältnisse


Fig. 76.


Fig. 77.


Fig. 74.


Fig. 75.

des Arbeitsortes überhaupt, dem spezifischen Gewichte des Sprengmittels und seiner Kraft werden die Schüsse größere oder kleinere Trichter werfen können, und die Entfernung derselben voneinander wird dann wechseln.

In den Fig. 72 bis 77 ist die amerikanische Arbeitsweise dargestellt. Man ordnet eine Reihe von Einbruchsschüssen (Fig. 74) an, welche in vertikaler

Richtung auseinandergehen (Fig. 72), während in der Horizontalebene die zwei Mittelschüsse sich begegnen (Fig. 73). Nach dem Abfeuern der Einbruchsschüsse sprengt man entweder die Ulmlöcher auf einmal (Fig. 75) oder man tut erst eine Reihe (Fig. 76) und dann die nächste ab (Fig. 77).

Diese wenigen Beispiele genügen, um für alle Fälle die nötigen Anhaltspunkte zu geben; es wird übrigens noch das im Kapitel über die Bestimmung der Ladung Enthaltene zu berücksichtigen sein.

3. Größere Bohrlochsanlagen.

Münch und Gerster haben beim Bau des Kanals von Korinth einen sinnreichen Weg eingeschlagen, um ganze Felswände auf einmal abzulösen. Sie trieben mit der Tophamschen Bohrmaschine (S. 45) Bohrlöcher von 60 m Tiefe und 75 mm Weite nieder, füllten dieselben auf 45 m mit Sand,

Fig. 78.

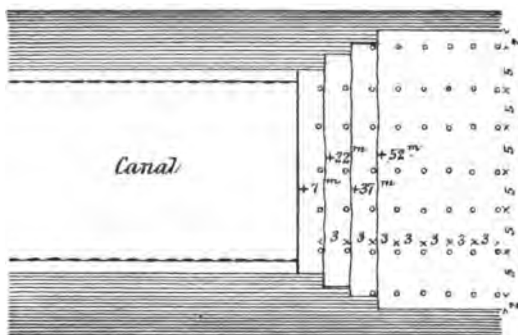
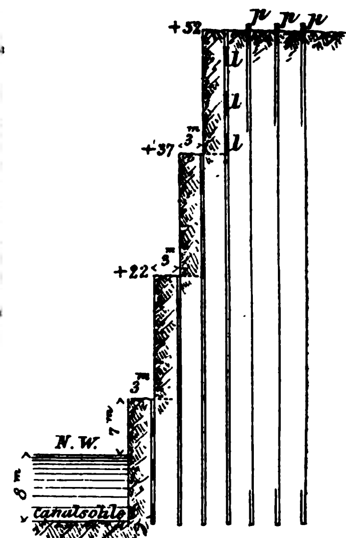


Fig. 79.



gaben sodann die Dynamitladung auf und besetzten den übrigen Teil gleichfalls mit Sand (Fig. 78 und 79).

War die Ladung abgetan, so wurde aus dem stehengebliebenen Teile auf weitere 15 m Tiefe der Sand herausgenommen, neuerlich geladen, und so fort, bis das ganze Bohrloch abgesprengt war. Indem sie die Felswand in vier Stufen einteilten, deren jede eine Reihe solcher Bohrlöcher erhielt, und diese reihenweise elektrisch gezündet wurden, ergab sich ein rasches Vorschreiten. Die Bohrmaschine stand auf einem Geleise und bohrte ein Loch in etwa 10 Stunden ab, ließ das Gestänge zurück, welches von einer anderen Arbeitergruppe herausgehoben wurde, während die Maschine mit einem zweiten Gestänge ein neues Bohrloch niedertrieb. Zum Ausräumen des Sandes bediente man sich eiserner Zylinder mit einem Schneckenbohrer an der Spitze und vier seitlichen Flügeln, welche den vom Bohrer aufgelockerten Sand in den Zylinder beförderten.

Die reihenweise Abfeuerung von Bohrschüssen in stufenförmigen Bauen ist überhaupt ein beliebter, bequemer und vorteilhafter Vorgang. Verfasser hat

zwei solchen Sprengungen in den Tagbauten auf Kohle in Trifail beigewohnt. Bei der ersten wurden 1100 kg Dynamit Nr. 3 und 138 kg Dynamit Nr. 2 in eine Anzahl von Bohrlöchern (etwa 40) geladen, und nach den bisherigen Erfahrungen sollte die abgesprengte Menge 7323 m^3 betragen. Bei der zweiten Sprengung wurden 562 kg Dynamit Nr. 3 geladen, und sollten 2763 m^3 absprengen.

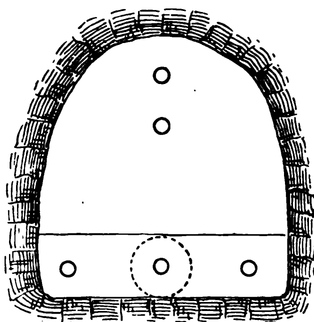
4. Sackminen (Kammerminen).

a) Sackminen durch Sprengung. Um eine größere Menge des Sprengmittels anhäufen zu können, also eine konzentrierte Ladung herzustellen, treibt man ein möglichst tiefes Bohrloch nieder, und läßt auf dessen Grunde

Fig. 80.

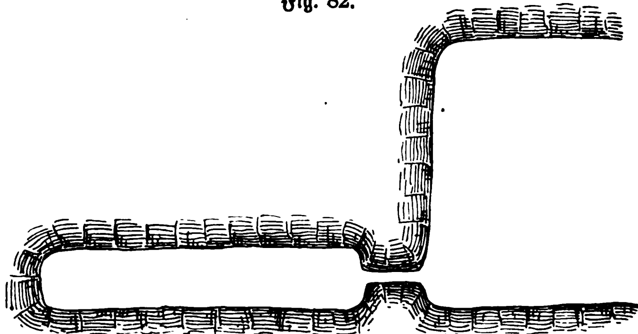


Fig. 81.



eine gut besetzte Dynamitladung explodieren, welche jedoch nicht so groß sein darf, um auch nach außen Wirkung zu üben. Die örtlich zermalmende Tätigkeit des Dynamits erzeugt einen Hohlraum (Fig. 80), welcher unter Umständen durch Wiederholung des Vorganges noch vergrößert werden kann.

Fig. 82.

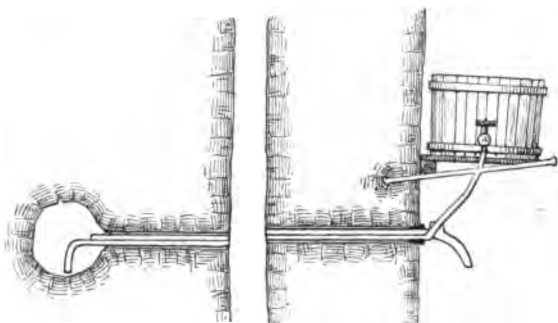


In den Gruben von Blanzy (Frankreich) erzeugt man auf ähnliche Weise einen tiefen Schramm. Man sprengt in der Stollensohle (Fig. 81 und 82) eine 2,50 m lange und 0,30 m weite Kammer aus, indem man das 3 m tiefe und 0,04 m weite Bohrloch zwei- bis dreimal mit Sprenggelatine ladet.

Hierauf werden die unteren Bohrlöcher elektrisch abgetan, und es entsteht der Schramm; mit Rücksicht auf die schon gebildete Kammer haben die Bohrlöcher 2 und 3 natürlich sehr erleichterte Arbeit.

b) Geätzte Minen. In Gestein, welches von Säuren angegriffen wird, wie Kalkstein, Dolomit u. dgl., ist die Herstellung von Sackminen durch Ätzung (zuerst von Courberaise im Jahre 1844 vorgeschlagen) manchmal vorteilhaft. Es wird zu diesem Zwecke vorerst das Bohrloch auf die gewünschte Tiefe getrieben und in dieses ein Kupferrohr mit Knie eingesteckt (Fig. 83); aus einem oberhalb angebrachten Holzgefäße mit Holzhahn strömt Salzsäure durch einen Kautschukschlauch, welcher durch ein Loch im Knie hindurchgeht und bis an den Grund des Bohrloches reicht. Hat die Säure gewirkt, so läßt man neue nachfließen, welche die ausgenutzte neben dem Kautschukschlauche vorbei durch das Knie heraustreibt; die ausgetriebene Säure kann noch ein zweites Mal verwendet werden. Nach ausgeführten Minen beim Hafenbau in Fiume

Fig. 83.



kann man mit 1 Liter Salzsäure in 48 Minuten 0,053 m³ Kammer erzeugen, was etwa 19 Liter auf den Cubikmeter entspricht.

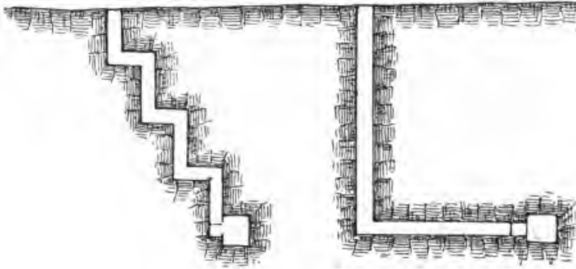
Die Anwendung von Sackminen wird sich nur in seltenen Fällen und bei nicht zu großen Bohrlochstiefen empfehlen. Bei solchen Minen handelt es sich ja gewöhnlich darum, von einer freien Seite aus zu bohren und nach einer anderen hinauszusprengen. Aus den allgemeinen Erörterungen, welche in diesem Buche gegeben sind, ist es klar, daß eine solche konzentrierte Ladung nur auf eine begrenzte Entfernung wirken kann, wenn der Sprengmittelverbrauch nicht übermäßig sein soll. Da ferner die Herstellung von Kammern im Gestein ihre Grenze hauptsächlich in den Kosten findet, welche mit zunehmender Weite der Kammer ganz außerordentlich wachsen, so ergibt sich, daß die Bohrlöcher nur bis auf mittlere Tiefen (5 bis 6 m) gebracht werden dürfen, wenn Sackminen noch vorteilhaft sein sollen. Meistens — bei entsprechenden Bohrvorrichtungen — wird die Herstellung und elektrische Zündung einer Reihe von Bohrlöchern sich besser empfehlen.

5. Riesenminen.

Bei Steinbrüchen, wo der Bedarf an Bau- und Straßenmaterial sehr bedeutend ist, und wo man, wie z. B. bei Hafenbauten, möglichst große Blöcke

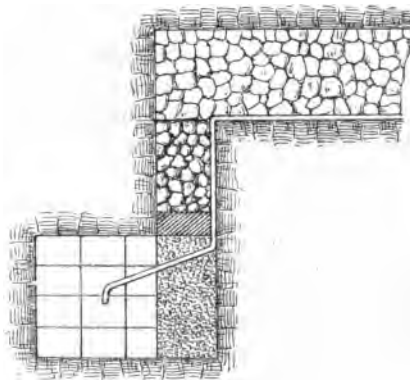
erzielen will, bietet die Herstellung von Riesenminen großen Vorteil. Es sind diese in das Innere des Berges gelegte große Ladungen von Pulver oder Dynamit von geringem Nitroglyceringehalt, welche das Gestein nur sehr wenig zertrümmern, dafür aber auf weite Strecken abheben. Bei Verwendung von Pulver ist die Wirkung nicht so ausgedehnt, die Kosten also etwas höher, jedoch lassen örtliche Rücksichten es manchmal vorziehen.

Fig. 84.



Zur Herstellung von Riesenminen treibt man gewöhnlich einen Stollen (seltener einen Schacht), welcher so eng als möglich gehalten und entweder in der Hälfte gebrochen wird, oder in seinem Laufe mehrfach solche rechte Winkel beschreibt, daß die Achsen der Stollenteile mindestens 1 m auseinander stehen (Fig. 84 und 85). Ein zweckmäßiges Profil für den Stollen ist 0,80 m Breite und 1,20 m Höhe, welches noch bequemen Verkehr ermöglicht. Hat man die gewünschte Entfernung im Berge erreicht, so treibt man einen kleinen Schacht von etwa 3 m Tiefe nieder. Von diesem zweigt man in rechtem Winkel die Minenkammer in dem erforderlichen Raumverhältnisse ab. Auf diese Weise können die Gase nicht in gerader Linie aus dem Stollen herausgetrieben werden.

Fig. 85.

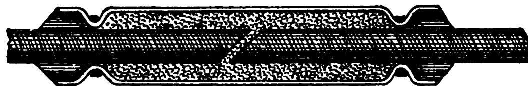


Das Pulver wird in Fässern oder Säcken, das Dynamit (Nr. 3 mit etwa 15 Proz. Nitroglycerin, 10 Proz. Kohle und 75 Proz. Salpeter) wird in geöffneten Kisten oder paraffinierten Leinwandsäcken in die Kammer gebracht und daselbst so dicht als möglich eingeschichtet. In die Mitte kommt die Zündladung, welche aus einer Anzahl Patronen von Schießbaumwolle oder Sprenggelatine besteht. Zwei dieser Patronen sind mit Zündhütchen und Zündschnur, zwei mit elektrischen Zündhütchen versehen; die entsprechenden Drähte der letzteren werden vereinigt. Die Zündschnüre und die isolierten Leitungsdrähte werden in Holzrinnen oder Bleiröhren von 40 mm Lichte bis außerhalb des Versatzes geführt, und zwar an den Seiten des Stollens. Die Drähte werden

vorher über Tag mit der Zündmaschine geprüft; ihre Schlüsse müssen natürlich sorgfältig hergestellt sein. Die Zündschnüre werden verlängert, indem man ihre Enden schräg abschneidet (Fig. 86), über das eine ein Kautschukröhrchen von 10 mm Weite schiebt und festbindet, sodann gutes Jagdpulver (wo dieses fehlt, auch Dynamit) einfüllt, die andere Zündschnur einsteckt, ebenso festbindet und dann die Enden mit Talg verschmiert.

Leere Räume in der Kammer werden mit mäßig feuchtem Sande zugestampft. Ist dieselbe jedoch wasserlässig, so kommen auf den Boden einige

Fig. 86.



Querhölzer mit Bretterung, die Wände werden gleichfalls mit Brettern verkleidet und die Hohlräume werden in diesem Falle mit Sägespänen, Häcksel oder dergleichen ausgefüllt.

Über die Ladung gibt man dann im Schachte eine Sandschicht, hierauf etwa 0,30 m schnellbindenden Zementmörtel, dann bis zur Stollensohle Bruchsteinmauerwerk in Zement gelegt, und schließlich wird der Stollen mit Trockenmauerwerk aus Bruchsteinen ausgefüllt, wobei man alle 5 m etwa ein Holzkreuz einspreizen kann. Die Ladung und der Versatz haben natürlich unter Anwendung einer Sicherheitslampe zu erfolgen. Man wiederhole mehrmals die elektrische Zündung, ehe man zu den Zündschnüren als letztes Mittel greift.

6. Laden der Bohrlöcher.

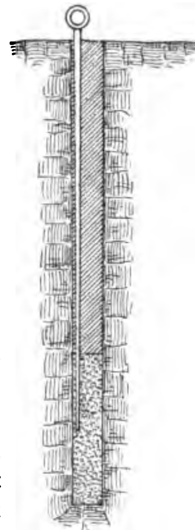
Es ist für jedes Sprengmittel ohne Ausnahme wesentlich, daß die Bohrlöcher vollkommen trocken gelegt werden. Dies erklärt sich daraus — abgesehen von der Zerstörung eines Teiles des Sprengmittels —, daß die Explosionsgase durch vorhandene Feuchtigkeit abgekühlt werden, ihre Spannung sich also vermindert; auch wird ein Teil der Arbeit dazu aufgebraucht, um die Feuchtigkeit zu verdampfen. Wenn also auch einzelne Sprengmittel, wie z. B. Sprenggelatine, gegen Wasser völlig unempfindlich sind, so darf dieser Umstand dennoch nicht dazu verleiten, das Bohrloch weniger sorgfältig zu trocknen. Aus den gleichen Gründen ist der sonst so bequeme Besatz mit Wasser nicht zu empfehlen. Wenn das Bohrloch dagegen stark wasserlässig ist, oder bei Sprengungen unter Wasser und in ähnlichen Fällen, wo der Wasserbesatz geboten ist, da wird man oft vorziehen, etwas an der Wirkung des Sprengmittels zu verlieren, um die zeitraubende, also kostspielige Trockenlegung zu vermeiden.

Sprengpulver und ihm verwandte Explosivstoffe sollen niemals lose in das Bohrloch geschüttet werden; in einzelnen Staaten ist dies mit Recht verboten. Die Handhabung losen Pulvers in der Nähe offener, häufig spritzender oder kohlender Grubenlampen, die Möglichkeit des Verstreuens und die meist schwierige Einführung des Pulvers lassen davon unbedingt abraten.

Es wird stets möglich sein, sich vorher schon das Pulver in Papierhülsen (Patronen) zu bereiten und diese fertig in die Grube zu bringen; man kann

dann mit ihnen auch Bohrlöcher von jedem Neigungswinkel bequem laden. Für wassersüchtige Bohrlöcher nimmt man Hülsen aus doppeltem Papier und taucht die Patronen in eine warm bereitete Mischung von 8 Tln. Pech, 1 Tl. Bienenwachs und 1 Tl. Talg (nach Combes), oder 6 Tln. Wachs, 1 Tl. Asphalt, 1 Tl. Harz (nach Heß), oder in mit Harz und Leinöl versetztes Paraffin (die Mischungsverhältnisse wechseln je nach dem Schmelzpunkte des Paraffins und des Harzes). Die Zündschnur muß in diesem Falle schon in der Patrone stecken und mit ihr fest und dicht verbunden sein. Gepreßtes (komprimiertes) Sprengpulver ist ebenso zu behandeln. In Großbritannien und manchen anderen Ländern ist die Herstellung solcher Patronen in nicht konzessionierten Räumen und durch ungenehmigte Personen ungesetzlich. Ist ein verständiger Mineur mit der Arbeit betraut, so kann er im Notfalle wie folgt vorgehen: Weiches Paraffin wird in einem beliebigen Gefäße geschmolzen und dann in einem vom Feuer entfernten Zimmer so lange langsam abgekühlt, bis das Paraffin eben zu erstarren beginnt. In diesem Augenblicke taucht man die Patronen in das Paraffin und zieht sie sofort heraus; hat man eine Anzahl Patronen getaucht, so werden die mittlerweile abgekühlten noch einmal paraffiniert. Auf diese Weise dringt das Paraffin nicht in das Pulver ein und der Überzug hat keine Sprünge. Führt man die so geschützten Patronen vorsichtig in das Bohrloch, so wird der Überzug nicht beschädigt und die Patronen können viele Tage lang im Wasser liegen bleiben.

Fig. 87.



Das Pulver muß mit dem Ladestocke möglichst dicht in das Bohrloch eingedrückt werden. Die Verwendung metallener Ladestöcke ist unbedingt zu widerraten, da selbst kupferne Ladestöcke bei unachtsamer Handhabung Entzündung entweder durch Funkenreißen oder durch Schlag hervorrufen können. Ladestöcke aus hartem (Eschen-, Akazien-) Holze, oben mit einer Bronzekappe besetzt, haben lange Dauer, sind leicht zu beschaffen und ungefährlich.

Das Laden mit der Raumnadel (Fig. 87) ist nur noch in wenigen Gruben üblich und wegen seiner Gefährlichkeit sowohl wie wegen der umständlichen Handhabung zu verwerfen. Wo eine andere Zündung nicht zu beschaffen ist, nehme man eine Raumnadel aus Kupfer oder Bronze. Sie wird in das Bohrloch an der Seite eingesteckt, das Pulver und der Besatz neben sie angepreßt und hierauf vorsichtig herausgezogen. In den so gebildeten Kanal steckt man die Zündung.

Werden, wie dies gewöhnlich der Fall ist, Zündschnüre benutzt, so mache man an dem einen Ende einen Knoten, den man auch noch an mehreren Stellen aufschneiden kann, und setze ihn auf das Pulver. Die Zündschnur muß an der Seite des Bohrloches anliegen und straff gespannt werden; Beschädigung beim Laden und Besetzen ist zu vermeiden.

Stets gebe man die Zündung etwa in die Mitte der Ladung. Pulver verbrennt verhältnismäßig langsam, es ist also vorteilhaft, wenn die Verbren-

nung von zwei Seiten aus vorschreitet. Würde man die Zündschnur auf den Grund des Bohrloches geben, so könnten die vorderen Teile der Ladung mit dem bei einem gewissen Gasdruck sich schon ablösenden Gesteine unverbrannt oder brennend herausfliegen, und in letzterem Falle die Luft bedeutend verschlechtern; steckt die Zündschnur auf der Ladung, so können Pfeifen stehen bleiben und das Pulver erst nach der Ablösung des Gesteins herausbrennen.

Wichtig ist ein möglichst gleichförmiger und dichter Besatz. Das Material für den Besatz von Pulverladungen muß frei von Quarz und ähnlichen harten Gesteinsarten sein, welche Funken reißen oder die Zündschnur beschädigen können. Bohrmehl, Kohle u. dgl. sind wenig entsprechend. Am besten ist wenig feuchter Letten, den man partienweise mit dem hölzernen Ladestocke verstampft, nachdem man vorher auf das Pulver einen Papierpfropfen gesetzt hat. Bei ansteigenden Bohrlöchern wickelt man den Letten in Papierhülsen. Es ist aber sehr zu empfehlen, über Tage durch Kinder, Invaliden u. dgl. einen Vorrat von Lettenwürsten in der erforderlichen Stärke bereiten und an der Luft trocknen zu lassen. Die Häuer ersparen Zeit und die geringen Kosten machen sich durch die bessere Wirkung der Ladung reichlich bezahlt.

Dynamit und ähnliche Explosivstoffe kommen schon in Patronenform in den Handel. Man bringt die erforderliche Anzahl Patronen einzeln in das Bohrloch und drückt sie mit dem hölzernen Ladestocke fest nieder, so daß die Patrone platzt und das Dynamit sich vollkommen dicht an die Bohrlochswand anschmiegt. Zu oberst gibt man eine hergerichtete Patrone; obwohl das Dynamit auch durch unmittelbares Aufsetzen eines Zündhütchens detoniert, ist die Verwendung von Zündpatronen doch für geringer dosierte Dynamite unbedingt zu empfehlen, weil eine kräftige Anfangswirkung sehr vorteilhaft ist, was durch die besondere Zusammensetzung der Zündpatronen erreicht wird.

Fig. 88.



Fig. 89.



Zur Herrichtung der Zündpatronen bedient man sich am besten der sogenannten Kapselzange (Fig. 88). Mit der schneidenden Kerbe schneidet man die Zündschnur auf die erforderliche Länge glatt ab, steckt sie in das vorher durch schwaches Aufklopfen sorgfältig von Sägespänen befreite Zündhütchen und würgt mit der Kerbe *b* den oberen Teil des Zündhütchens fest an die Zündschnur an (Fig. 89). Man hüte sich, wie dies manchmal geschieht, das Zündhütchen mit den Zähnen oder ähnlich anzuwürgen, es sind schon viele Unglücksfälle dadurch entstanden.

Die Zündpatrone wird nun an einem Ende geöffnet und mit einem Stückchen Holz, oder, wenn diese Vorrichtung vorhanden ist, mit dem an einem Zangenhebel angebrachten Ebonitzapfen ein Loch in die Zündpatrone gedrückt. In dieses Loch kommt das Zündhütchen so, daß die Zündschnur das Dynamit nicht berühre, weil letzteres sonst vorzeitig in Brand gerät und die Luft verschlechtert. Das vorstehende Papier der Zündpatrone wird dann an die Zündschnur mit Bindfaden gut verbunden.

Die Zündschnur wird mit dem Ladestocke leicht aufgesetzt, ein Papierpfropfen darauf gegeben und mit dem hölzernen Ladestocke gut besetzt, anfangs jedoch nur durch leichtes Andrücken, um die Zündpatrone nicht zu beschädigen. Wo noch viel Bohrlochsraum übrig ist, genügt auch ein einfaches Einschütten von trockenem, feinem Sand; Lettenbesatz ist aber immer vorzuziehen.

In nassen Bohrlöchern oder unter Wasser, wenn die Schüsse unmittelbar nach dem Laden gezündet werden, genügt die wasserdichte Umhüllung der Dynamitpatronen, um die Ladung zu schützen, jedoch dürfen dann die Patronen nicht zerdrückt werden, sondern man schiebt sie so aneinander, daß sie sich sicher berühren. Haben die Patronen längere Zeit im Wasser zu liegen, so taucht man sie in eine der oben beim Pulver erwähnten wasserdichten Schmelzen, oder gibt das Dynamit in Blechbüchsen (vgl. Fig. 5), deren Deckel eine Hülse zur Aufnahme des Zündhütchens enthält, und gut abgedichtet wird. Die Zündpatronen für nasse Bohrlöcher müssen jedenfalls in die Schmelze getaucht, oder doch mit Talg, Pech oder auch nur Lehm verstrichen werden, damit keine Feuchtigkeit an das Zündhütchen gelange.

Besondere Sorgfalt ist darauf zu verwenden, daß das Dynamit nicht gefroren sei, also in teigigem Zustande eingebracht werde. Die Patronen müssen sich nicht nur ganz weich anfühlen, sondern auch im Inneren vollständig plastisch sein.

Werden die Schüsse elektrisch gezündet, so benutze man metallfreies Besatzmaterial, und trachte, die Isolierung der Drähte nicht zu beschädigen.

Hat ein Schuß versagt, so ist es am besten, ihn stehen zu lassen und einen anderen anzulegen. Das Ausräumen ist stets gefährlich. Wo dies nicht zu vermeiden ist, spritze man fortwährend Wasser ein, und entferne den Besatz vorsichtig mit dem Raumkrätzer. Hat man Halmzündung angewendet, so kann man allerdings einen neuen Halm einführen, sonst aber wird die Pulverladung am besten ersäuft. Bei Dynamit kann der Besatz bis auf den Papierpfropfen unter Wassereinspritzen ausgeräumt werden; man gibt dann eine neue Zündpatrone auf die alte Ladung und besetzt neu, wodurch auch diese wieder losgeht.

7. Bestimmung der Ladung.

Es muß von vornherein gesagt werden, daß für die meisten bei der Sprengarbeit vorkommenden Verhältnisse die Berechnung der Ladungsmengen deshalb sehr schwierig ist, weil diese Verhältnisse selbst in jedem Augenblicke wechseln können. Dies gilt insbesondere für Steinbrüche und Eisenbahneinschnitte, aber auch in Bergbauen dort, wo man es nicht mit Stollen oder Schächten von gleichbleibendem Querschnitt und Gesteinsverhältnissen zu tun hat.

Man wird leicht einsehen, daß die Ladungsmenge wesentlich davon abhängt, in welchem Zustande sich das abzusprengende Gestein befindet. Es ist ein anderes, ob man eine Felswand oder eine unterschrämmte Kohlenbank herabzuwerfen hat, hier gibt es zwei freie Seiten; ein anderes ist es, wenn man ein vorspringendes Felsstück absprengt, da gibt es oft vier freie Seiten; wieder, besonders beim Erzbergbau, in sogenannten Firstenstrossen, hat man wohl zwei und mehr freie Seiten, allein das Gestein ist oben und unten in kurzer Entfernung so fest verspannt, daß selbst verhältnismäßig kräftige Ladungen geringe Wirkungen ausüben. Auch Nebenvorteile sind nicht ohne Einfluß, wie z. B., wenn bei einer breiten Kohlenbrust von zwei Schüssen der eine etwas früher abgetan wird, damit der andere weniger Ladung bedürfe und dergleichen mehr. Nun ist es aber bei einfacher Erwägung schon klar, daß ein Bohrloch im allseits verspannten Gesteine ganz andere Ladung erfordert, als wenn das Felsstück nur auf vier, drei oder noch weniger Seiten mit der Hauptmasse zusammenhängt, und das Minimum wird jedenfalls dann eintreten, wenn das zu sprengende Stück nirgends verbunden, ein „Freistein" ist.

Darum bleibt es bei häufig wechselnden Verhältnissen im Gestein und in der Lage des Sprengstückes eine müßige Sache, die Ladungsmenge berechnen zu wollen. Die Sparsamkeit im Grubenhaushalt und bei der Sprengarbeit überhaupt erfordert es, daß in den gewöhnlichen Fällen der Häuer selbst die ihm nötig scheinende Ladung bestimme, denn es geht selten an, daß ein Ingenieur dies zur besonderen Aufgabe erhalte. Hat dann noch — wie es in Bergbauen die Regel ist — der Häuer selbst sein Sprengmaterial zu bezahlen, so muß man ihm naturgemäß dessen beliebige Verwendung gestatten, jedoch wird es dann Aufgabe des die Aufsicht führenden Ingenieurs sein, ihm die Anleitung oder bei unvernünftiger Arbeit die notwendige Belehrung zu geben. Der verständige Häuer sieht sich sein Gestein wohl an, nimmt bei jedem Schusse Rücksicht auf vorhandene Ablösungen (Lassen, Erdspalten), auf die Richtung des Bohrloches, die „lauten" Partien und das „Freisein"; allein es trifft sich nur zu oft, daß zwei Häuer über die für einen bestimmten Schuß erforderliche Ladung verschiedener Meinung sind. Daraus folgt gewöhnlich Verschwendung des Sprengstoffes, welche insbesondere bei Eisenbahnarbeiten und Steinbrüchen größeren Umfang annimmt, weil der meist im Akkord tätige Arbeiter lieber stärker ladet, um nicht nachbohren oder „abheben" zu müssen. Bei der Gewinnung von Werksteinen wird wieder zu wenig geladen, aus Furcht, das Gestein zu sehr zu zertrümmern, und dann verbringt man wieder halbe Tage damit, eine solche Gesteinsbrust mühsam abzukeilen.

Indem ich also nochmals rate, unter gewöhnlichen Umständen die Berechnung der Ladungen zu unterlassen, empfehle ich dagegen, einige Wochen hindurch die Arbeiter aufmerksam zu beobachten, sich von einigen Tüchtigeren von Fall zu Fall aufklären zu lassen, und wenn man, was vorausgesetzt wird, die sonstigen für die Sprengarbeit erforderlichen Kenntnisse besitzt, so wird man in kurzer Zeit eine solche Gewandtheit erlangen, daß man durch bloße Betrachtung des Sprengstückes die Ladung mit ziemlicher Schärfe angeben kann.

Ich werde später jene Fälle behandeln, bei welchen eine Berechnung der Ladung möglich ist. Wie erwähnt, sind dies Stollen und Schächte mit gleichbleibenden Gesteinsverhältnissen und Querschnitt — also auch die Tunnelarbeiten —, ferner Steinbrüche, Eisenbahneinschnitte und Tagbaue, besonders von Kohle, welche eine sehr planmäßige Arbeit gestatten, und schließlich die Riesenminen, Sprengungen bedeutender Felsmassen durch große Ladungen.

Es hat an Theorien für die Ermittelung der Ladungen nicht gefehlt, allein ihre Anwendung auf die Praxis muß sich naturgemäß auf empirische Beobachtungen stützen. Es sei also in folgendem das zum Verständnisse der Theorie unumgänglich Nötige geboten.

Allgemeine Laderegel.

Sieht man vorerst von der Form der Ladung ab, und denkt sich dieselbe auf einen mathematischen Punkt konzentriert, nimmt man an, daß im Augenblick der Explosion der gesamte Sprengstoff in gasförmigen Zustand gebracht wurde, so wird er auf die ihn einschließende Umgebung an allen Punkten einen gleich großen Druck ausüben. Ist die Ladung stark genug, so wird dieser Druck den Widerstand überwinden, welchen die Kohäsion des Sprengstückes ihm bietet, und dieses wird in Teile gebrochen. Ist die Ladung zu schwach, so wird der Druck dazu verbraucht, einerseits den von der Ladung eingenommenen Hohlraum zu erweitern, andererseits die gebildeten Gase wieder in flüssigen Zustand überzuführen, oder an der Bildung fester Verbindungen mitzuwirken.

Denkt man sich nun die Ladung an einem Punkte einer unbegrenzten, leicht zusammendrückbaren Masse, so wird, da die Gase keinen Ausweg finden und der Druck auf alle Punkte der Umgebung gleich groß ist, eine Erweiterung des Hohlraumes in Gestalt einer Kugel die Folge sein. Denkt man sich die Ladung in einer theoretisch vollkommen unpreßbaren Masse befindlich, so wird sich der Druck in den einzelnen Molekülen dieser Masse bis zu einer von der Größe dieses Druckes abhängenden Grenze nach allen Richtungen vollkommen gleichmäßig fortpflanzen, mit anderen Worten, die Gesamtheit der von dem Druck erreichten Masse muß die Gestalt einer Kugel haben.

Daraus folgt, daß die Größe einer auf einen mathematischen Punkt konzentrierten Ladung in geradem Verhältnis zu dem Körperinhalt der von ihrer Wirkung berührten Kugel steht. Setzt man nun für die Wirkungsfähigkeit eines Sprengmittels in einer gegebenen Masse den Koeffizienten c, und ist der Körperinhalt einer Kugel $I = 4{,}1888\, r^3$ (r = Halbmesser der Kugel), so ist die Ladung $L = 4{,}1888\, r^3 . c$.

Diese allgemeine Laderegel kann in der Sprengarbeit keine Anwendung finden, weil man bei derselben niemals mit unbegrenzten Massen zu tun hat, vielmehr immer eine bestimmte Arbeit verrichten will.

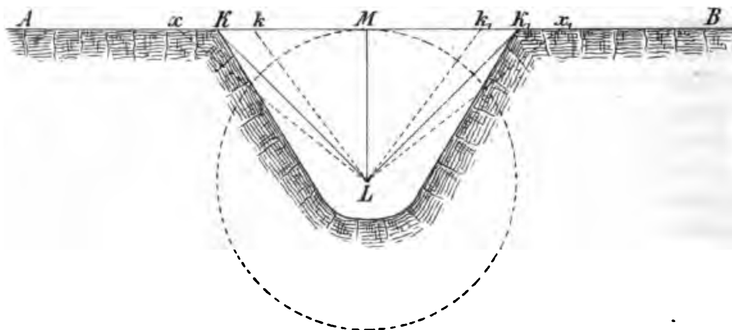
Sprengung aus dem Vollen (eine freie Fläche) mit konzentrierter Ladung.

Man denke sich eine konzentrierte Ladung L (Fig. 90) (deren vollkommenste Form wieder die Kugel ist) in einer Masse eingeschlossen, welche nach einer

Seite von der Ebene AB, nach allen anderen Seiten aber nicht begrenzt ist. Der durch die Explosion gebildete Druck findet demnach überall Widerstand, ausgenommen gegen die Ebene AB.

Nehmen wir nun an, das Maß der dem Sprengmittel entsprechenden Kraft, also der Halbmesser der seiner Wirkung zukommenden Kugel, sei genau gleich einer von der Ladung L auf die Ebene AB gefällten Senkrechten LM, so würde die Ebene AB nur in ihrem Punkte M von der Wirkung berührt werden. Da jedoch je nach dem Maße der Zusammendrückbarkeit und der Elastizität des Gesteins eine größere oder geringere Menge der entwickelten Kraft von den unbegrenzten Seiten gegen die begrenzte Ebene zurückgeworfen wird, nach welcher hin sich weniger Widerstand vorfindet, so wird auf der Ebene AB eine größere Anzahl von Punkten getroffen werden. Diese Treffpunkte werden ihre Grenze dort finden, wo das Maß der verfügbaren Kraft aufhört; sie wird also ihre Wirkung in Gestalt eines Kegels gegen die Ebene AB hin ausüben, und einen Trichter KLK_1 von dem Sprengkörper ablösen.

Fig. 90.

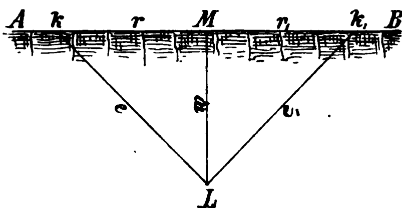


Ist die Ladung schwächer, so folgt von selbst, daß der Trichter kleiner, kLk_1, wird, ist sie stärker, so wird er größer, xLx_1, sein. Ist das Sprengmittel stark genug, um den Widerstand gegen die unbegrenzten Seiten hin teilweise zu überwinden, so wird an denselben teils eine Formveränderung, teils eine Loslösung und Spaltung des Gesteins auftreten, so daß der erzeugte Trichter an den der Ebene AB abgewendeten Seiten eine Erweiterung erfährt, und in Wirklichkeit die voll gezeichnete Gestalt erhielte.

Es ist klar, daß in diesem Falle die Größe des Trichterhalbmessers KM — welchen wir in der Folge mit r bezeichnen — und mit ihm der Trichterinhalt bei gleicher Natur des Sprengstückes und des Sprengmittels nur von der Menge der Ladung abhängen. Es folgt weiter, daß eine unverhältnismäßig wachsende Kraft zur Erzeugung des Trichters notwendig ist, und eine ebenso gesteigerte Menge von Kraft ungenutzt verloren geht, wenn der Trichterhalbmesser r größer wird, als die kürzeste Entfernung (Widerstandslinie) LM (in der Folge w genannt) der Ladung von der Ebene AB, und wenn umgekehrt die Widerstandslinie w gegen den Trichterhalbmesser r wächst.

Ist LM (Fig. 91) die Widerstandslinie w einer Mine, kM und k_1M die Trichterhalbmesser r und r_1, so nennt man die Mantellinien kL und k_1L die Explosionshalbmesser e und e_1. Bleibt nun die Widerstandslinie gleich, vermehrt sich aber die Ladung, so wird der Trichter größer, was in der Verlängerung des Explosionshalbmessers e seinen Ausdruck findet; es kann also e als Kugelhalbmesser, als das größte Maß der an der Ebene AB zur Geltung gelangten Kraft gelten, und man kann sonach die Wirkung des Sprengmittels als den dritten Potenzen des Explosionshalbmessers e entsprechend annehmen.

Fig. 91.



Die Erfahrung hat gezeigt, daß diese Annahme in der Regel vollkommen zutrifft. Es kommen in der Wirklichkeit allerdings viele Nebenumstände mit in Betracht, welche das theoretische Resultat verändern, und man kann deshalb der hieraus abgeleiteten Laderegel keinen absoluten Wert beimessen.

Ist c der Wirkungskoeffizient eines Sprengmittels, so wird nach dem obigen die Ladung $L = ce^3$ und $c = \frac{L}{e^3}$. Da nun $e = \sqrt{w^2 + r^2}$, so lautet die Formel $L = c\left(\sqrt{w^2 + r^2}\right)^3$, wobei L in Kilogrammen, w und r in Metern auszudrücken sind.

Damit hört die Theorie auf und wird in ihrer weiteren Ausführung durch die Erfahrung ergänzt. Während man nämlich nach der Theorie annehmen muß, daß einer bestimmten Widerstandslinie w nur ein gleich großer Trichterhalbmesser r entspreche, hat sich aus einer großen Anzahl von Sprengungen ergeben, daß infolge der vorerwähnten Rückwirkung der Kräfte die Grenze für eine regelmäßige Wirkung der Ladung noch dann erreicht wird, wenn $\frac{r}{w} = n = 1{,}50$, oder $\frac{e}{w} = p = 1{,}80$, also das Verhältnis Widerstandslinie : Trichterhalbmesser $= 2:3$, oder Widerstandslinie : Explosionshalbmesser $= 5:9$ ist.

Wenn man nun die Formel $L = c\left(\sqrt{w^2 + r^2}\right)^3$, innerhalb der Grenze von $n \gtreqless 1{,}50$ und $p \gtreqless 1{,}80$, näherungsweise berechnet, so erhält man die Näherungsformel $L = 0{,}36\,c\,(w + r)^3$. Ersetzt man in derselben $0{,}36\,c$ durch k, d. h. drückt man den Koeffizienten sogleich kleiner aus, so ergibt sich als Laderegel:

$$L = k\,(w + r)^3 \text{ und } k = \frac{L}{(w + r)^3}.$$

Daraus ist folgende Tabelle berechnet:

Ladetabelle für konzentrierte Ladungen mit einer freien Fläche.

$L = k\,(w + r)^3$. Richtiges Verhältnis $\frac{r}{w} > 0{,}75 < 1{,}50$.

Der Koeffizient $k = 0{,}100$; ist $k \gtrless 0{,}100$, so ist L entsprechend zu multiplizieren oder zu dividieren.

$w + r$ Meter	$L =$ Kilogr.	$w + r$ Meter	$L =$ Kilogr.	$w + r$ Meter	$L =$ Kilogr.	$w + r$ Meter	$L =$ Kilogr.
4,00	6,400	8,25	56,152	12,25	183,825	16,25	429,102
4,25	7,677	8,50	61,413	12,50	195,313	16,50	449,213
4,50	9,113	8,75	66,992	12,75	207,267	16,75	469,942
4,75	10,717	9,00	72,900	13,00	219,700	17,00	491,300
5,00	12,500	9,25	79,145	13,25	232,620	17,25	513,295
5,25	14,470	9,50	85,738	13,50	246,038	17,50	535,938
5,50	16,638	9,75	92,686	13,75	259,961	17,75	559,236
5,75	19,011	10,00	100,000	14,00	274,400	18,00	583,200
6,00	21,600	10,25	107,689	14,25	289,364	18,25	607,839
6,25	24,414	10,50	115,763	14,50	304,863	18,50	633,163
6,50	27,463	10,75	124,230	14,75	320,905	18,75	655,430
6,75	30,755	11,00	133,100	15,00	337,500	19,00	685,900
7,00	34,300	11,25	142,383	15,25	354,658	19,25	713,333
7,25	38,108	11,50	152,088	15,50	372,388	19,50	741,488
7,50	42,188	11,75	162,223	15,75	390,698	19,75	770,373
7,75	46,548	12,00	172,800	16,00	409,600	20,00	800,000
8,00	51,200						

Sind n und p, die Zeiger der Mine, größer als 1,50 bzw. 1,80, so wächst, wie vorher erörtert, die nötige Ladung unverhältnismäßig, und man muß sodann für jeden einzelnen Fall einen Zeigerkoeffizienten q in Rechnung bringen, die Laderegel also auf $L = q k (w + r)^3$ und $k = \frac{L}{q\,(w + r)^3}$ ändern. Für diesen Zeigerkoeffizienten q wurde auf Grund von Erfahrungsresultaten nachstehende Tabelle gebildet [1]):

Zeiger $p =$	0,00 bis 1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10
„ $n =$	0,00 „ 1,50	1,56	1,62	1,67	1,73	1,79	1,85
Koeffizient $q =$	1,00	1,08	1,17	1,28	1,40	1,53	1,68

Zeiger $p =$	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45	2,50
„ $n =$	1,90	1,96	2,01	2,07	2,13	2,18	2,24	2,29
Koeffizient $q =$	1,83	2,00	2,17	2,36	2,55	2,74	2,95	3,16

Zeiger $p =$	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80
„ $n =$	2,35	2,40	2,45	2,51	2,56	2,62
Koeffizient $q =$	3,37	3,59	3,81	4,03	4,25	4,48

[1]) 17. Teil des technischen Unterrichts für die k. k. Genietruppe.

Man ersieht daraus, daß es ganz unvorteilhaft ist, p größer als 1,80, bzw. n größer als 1,50 zu machen, kurz gesagt, zu starke Ladungen anzuwenden.

Hat man umgekehrt die Ladungsmenge L und den Wirkungskoeffizienten k für das Sprengmittel gegeben, so kann man den Trichterhalbmesser r, also die Wirkungssphäre einer Mine, bestimmen, indem man die Formel:

$$\sqrt[3]{\frac{L}{k}} \cdot 0{,}36 \, . \, 2 = \sqrt[3]{\frac{L}{k}} \cdot 0{,}72 = e_1,$$

und $r = \sqrt{e_1^2 - w^2}$ berechnet. Ist der Zeiger p_1 größer als 1,80, also $\frac{e_1}{w} > 1{,}80$, so hat man das so gefundene e_1 mit dem in nachstehender Tabelle zu suchenden Werte zu multiplizieren:

$\frac{e_1}{w} = p_1 =$	0,00 bis 1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
Wert f für $e =$	1,00	0,97	0,95	0,92	0,90	0,88	0,86
$\frac{e_1}{w} = p_1 =$ 2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2
Wert f für $e =$ 0,84	0,82	0,80	0,78	0,77	0,76	0,74	0,73
$\frac{e_1}{w} = p_1 =$ 3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
Wert f für $e =$ 0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65
$\frac{e_1}{w} = p_1 =$ 4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	
Wert f für $e =$ 0,64	0,64	0,63	0,62	0,62	0,61	0,61	

Beispiele: Gegeben $k = 0{,}100$, $w = 5\,\text{m}$, $r = 5\,\text{m}$, dann ist

$$p = \frac{\sqrt{w^2 + r^2}}{w} = 1{,}41; \; n = \frac{r}{w} = \frac{5}{5} = 1; \; L = k\,(w + r)^3 = 100\,\text{kg},$$

folglich

$$k = \frac{100}{(5 + 5)^3} = 0{,}100; \; e_1 = \sqrt[3]{\frac{L}{k}} \cdot 0{,}72 = 7{,}2\,\text{m}; \; p_1 = \frac{7{,}2}{5} = 1{,}44\,\text{m},$$

also $< 1{,}80$, demnach $r = \sqrt{e_1^2 - w^2} = 5{,}18\,\text{m}$ statt 5 m.

Gegeben $k = 0{,}150$, $w = 3\,\text{m}$, $r = 7\,\text{m}$, dann ist

$$p = \frac{\sqrt{9 + 49}}{3} = 2{,}54; \; n = \frac{7}{3} = 2{,}33;$$

also $L = qk\,(w + r)^3 = 3{,}37 \times 0{,}15 \times (3 + 7)^3 = 505{,}5\,\text{kg}$; folglich

$$k = \frac{L}{q\,(w + r)^3} = 0{,}150; \; e_1 = \sqrt[3]{\frac{505{,}5}{0{,}15}} \cdot 0{,}72 = 10{,}80\,\text{m};$$

$p^1 = \frac{10{,}80}{3} = 3{,}60$, also $> 1{,}80$, demnach $e = e_1 \, . \, f = 10{,}80 \, . \, 0{,}69 = 7{,}45\,\text{m}$ statt $7{,}62\,\text{m}$, und $r = \sqrt{e^2 - w^2} = \sqrt{46{,}50} = 6{,}82\,\text{m}$ statt 7 m.

Die beiden Tabellen stimmen sonach genügend genau überein.

Sprengungen mit konzentrierten Ladungen bei zwei und mehr freien Flächen.

Angenommen, eine Ladung L (Fig. 92) werfe gegen eine freie Fläche $KK_{I}K_{III}$ einen Trichter von der Größe aLk aus. Hat das Sprengstück jedoch zwei freie Flächen KK_{I} und KK_{II}, so muß die Ladung nach jeder Seite hin einen Trichter aussprengen; derselbe wird kleiner sein, als wenn nur eine freie Fläche vorhanden wäre. Ist $w = w$, und L nicht größer, als eben nötig, so werden die Mantellinien der beiden Trichter sich berühren, und die dazwischen befindlichen Mittel durch die teilweise zurückgeworfene Kraft mitgenommen werden,

Fig. 92.

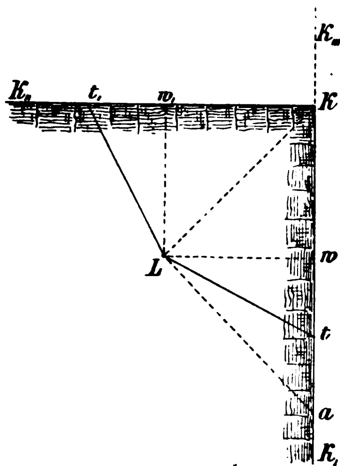
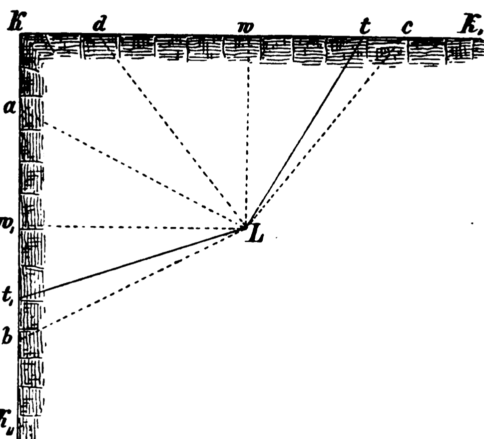


Fig. 93.



es wird also ein Trichter von der Form tLt_{I} entstehen. Ist jedoch $w < w$, so werden der Ladung L zwei sich nicht berührende Trichter cLd und aLb (Fig. 93) entsprechen, wenn das Sprengstück gegen K mit dem Festen zusammenhinge. Da dies aber nicht der Fall ist, so wird ein Teil der Kraft, in Verbindung mit dem zurückgeworfenen Teile derselben, zur Bewältigung des Zwischenmittels $KdLa$ verbraucht, und dagegen in der Richtung von K_{I} und K_{II} weniger zur Geltung gelangen, so daß der Trichter schließlich die Gestalt tLt_{I} annimmt; hierbei wendet sich die Kraft, wie aus dem oben Gesagten folgt, mehr der kleineren Widerstandslinie w zu. Aus der Betrachtung des Vorstehenden ergibt sich also, daß das Volumen des abgesprengten Gutes bei gleicher Ladung größer wird, wenn zwei freie Seiten statt einer vorhanden sind, oder umgekehrt, zur Erzielung derselben Wirkung ist eine geringere Ladung nötig.

Wendet man das bei Sprengungen mit einer freien Fläche Gesagte sinngemäß hier an, so ergibt sich, daß der Abstand der Ladung von den beiden freien Flächen in keinem größeren Verhältnisse als 2 : 3 sein darf, wenn nicht unverhältnismäßig viel Ladung verbraucht werden soll. Dies wird auch durch die Erfahrung bestätigt.

Es ist leicht einzusehen, daß in dem Maße, als sich die Anzahl der freien Seiten vermehrt, die Verspannung des Sprengstückes auch abnimmt und zur Gewinnung gleich großer Mengen von Sprenggut stets eine geringere Ladung erforderlich ist, oder die gleiche Ladung ein stets wachsendes Volumen abwirft. Auch hier gilt die allgemeine, durch die Erfahrung gewonnene Regel, daß der kürzeste Abstand der Ladung zum längsten höchstens im Verhältnisse wie 2 : 3 stehen darf, wenn die Arbeit nicht unvorteilhaft werden soll. Zweckmäßig legt man die Ladung so an, daß die kürzere Widerstandslinie in der Horizontalen, die längere in der Vertikalen liegt, weil das Gewicht der abgehobenen Masse zum leichteren Abbruche beiträgt.

Über die Ladungsmenge solcher mit mehreren freien Flächen versehenen Minen läßt sich eine Regel kaum angeben. Beiläufig ist anzunehmen, daß die nach der Tabelle auf S. 66 berechnete Ladung für eine freie Seite durch die Anzahl der freien Seiten zu dividieren ist, daß sie also

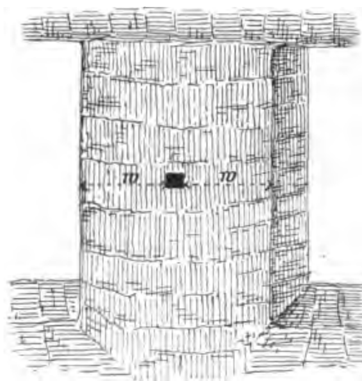
bei zwei freien Seiten auf die Hälfte,
„ drei „ „ „ ein Drittel,
„ vier „ „ „ „ Viertel,
„ fünf „ „ „ „ Fünftel,
„ sechs „ „ (Freisteinen) auf ein Sechstel

herabgesetzt werden kann. Man tut dann am besten, einige Probesprengungen durch kleine Minen zu machen, und zwar zuerst aus dem Vollen, um den Koeffizienten k zu bestimmen, und dann mit zwei oder mehr freien Seiten, um zu sehen, wie weit der Natur des Gesteines entsprechend obige Verhältniszahlen zu ändern sind.

Verspannte Sprengstücke.

Von den hier erwähnten Verhältnissen weichen jedoch sehr bedeutend jene Sprengstücke ab, welche an mindestens zwei einander entgegengesetzten Seiten mit der großen Masse zusammenhängen. Man sagt dann, das Gestein sei „verspannt“, und es wird einer verhältnismäßig größeren Ladung bedürfen, als der Anzahl der freien Seiten zukäme. Die einfachste Form einer solchen Verspannung ist die, wenn das Sprengstück lediglich auf zwei Seiten mit dem Festen verbunden ist, z. B. bei einem Pfeiler (Fig. 94). Ist das Zwischenmittel dick genug, und will man nur nach einer Seite hin die Wirkung erzielen, so verhält sich die Arbeit wie beim Sprengen aus dem Vollen mit einer freien Ebene. Will man jedoch nach beiden freien Seiten hin aussprengen, d. h. das Zwischenmittel entfernen, so muß die Ladung erfahrungsgemäß um die Hälfte größer genommen werden. Man muß dann

Fig. 94.



zweckmäßig die Ladung in der Mitte anbringen, denn wenn die beiden Widerstandslinien ungleich werden, so vermindert sich die Wirkung in der Richtung der größeren Widerstandslinie im cubischen Verhältnisse, man wird also eine in demselben Verhältnisse größere Ladung nehmen müssen, um die gleiche Wirkung zu erzielen.

Wenn jedoch das Sprengstück an mehreren, und darunter selbstverständlich wieder an zwei entgegengesetzten Seiten „fest verspannt" ist, so wird die nötige Ladungsmenge mit der Anzahl der verspannten Seiten immer mehr steigen.

Verschiedenheit der Schichten.

Bei großen Sprengungen trifft es sich häufig, daß der abzusprengende Teil aus verschiedenen Gesteinsschichten von ungleicher Härte besteht. Es ist da vor allem darauf zu achten, daß die Ladung inmitten einer möglichst dicken Schichte zu liegen komme. Wo es nicht zu vermeiden ist, daß die Ladung sich zwischen zwei Schichten befinde, muß sie verstärkt werden.

Bohrlochsprengungen (Sprengungen mit gestreckten Ladungen).

Bei den in regelmäßigen Betrieben vorkommenden Sprengungen befindet sich die Ladung in einem Bohrloche, wo ihre Länge ein Vielfaches ihres Durchmessers beträgt, also einen Zylinder bildet; man nennt dies eine gestreckte Ladung. Man kann eine gestreckte Ladung als eine ununterbrochene Reihe konzentrischer Ladungen auffassen. Hätten wir also in einem unbegrenzten, leicht zusammendrückbaren Raume eine gestreckte Ladung L (Fig. 95) eingeschlossen, und denken

Fig. 95.

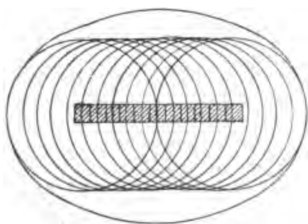
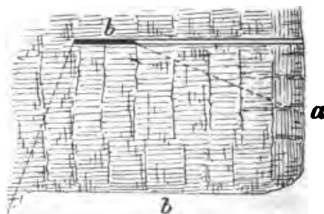


Fig. 96.



wir uns dieselbe vorläufig aus einzelnen konzentrierten Ladungen zusammengesetzt, so wird jeder derselben eine Kugel als Wirkungskreis entsprechen. Da aber diese Kräfte nebeneinander zur Geltung gelangen, so werden dieselben um so mehr ineinander greifen, je näher sie zum Mittelpunkte der Ladung entstehen, es werden also an diesen Stellen größere Kraftmengen in Wirkung treten. Dadurch wird nun der Hohlraum eine eiförmige Gestalt annehmen müssen.

Hat eine solche gestreckte Ladung gegen eine freie Fläche zu wirken, so wird dieselbe, nach dem bei konzentrierten Ladungen Gesagten, gleichfalls einen Trichter werfen, derselbe wird jedoch die Form einer Ellipse annehmen müssen. Mit der Zunahme der Ladungslänge wird dieser Trichter naturgemäß immer weniger eiförmig, und müßte schließlich eine Rinne bilden.

Diese elliptische Form kann der Trichter auch dann nicht beibehalten, wenn mehr als eine freie Seite vorhanden ist. Es seien z. B., wie in Fig. 96, zwei

freie Seiten vorhanden, so wird die Ladung gegen das Volle hin, wegen der hohen Verspannung, nur wenig wirken können, um so mehr aber gegen die freien Seiten hin, sowohl, weil dort die Verspannung aufgehoben ist, als auch, weil die Kraft von der vollen Seite her zurückgeworfen wird. Der Trichter wird also eine unregelmäßige Form erhalten, und diese wird um so verschiedener sein, je mehr freie Seiten vorkommen.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß gestreckte Ladungen unmittelbar aus der Widerstandslinie berechnet werden können, nachdem das Gewicht der Ladung für den Längenmeter des Sprengstückes mit dem Quadrate der Widerstandslinie w gleichmäßig wächst. Behalten wir die früheren Bezeichnungen bei, so ergibt sich die Formel $L = kw^2$ und $k = \frac{L}{w^2}$, worin k der dem Gesteine entsprechende Koeffizient, L die Ladung in Kilogrammen für den Längenmeter ist.

Betrachten wir einen ziemlich allgemeinen Fall, wie das Vortreiben einer Strecke in der Kohle. Ein Bohrloch b (Fig. 97 und 98) hätte gegen den

Fig. 97.

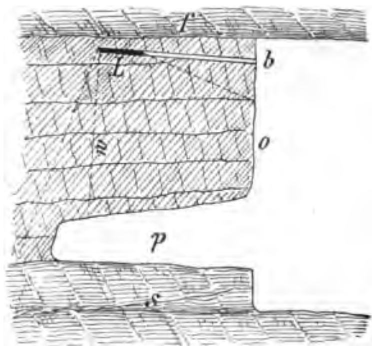
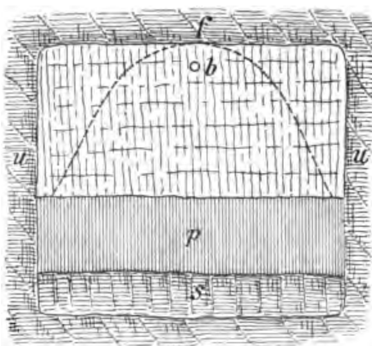


Fig. 98.



Schramm p und die Brust o zu wirken. Da das Gestein auf allen anderen Seiten fest verspannt ist, so wird die Wirkung sich nur gegen die bezeichneten zwei freien Seiten hin äußern können. Das Volumen der abgesprengten Masse wird also nur durch die Höhe der Bank bestimmt, demnach mit der Widerstandslinie w wechseln. Da nun bekanntlich die Fortpflanzung des Stoßes der Entfernung umgekehrt proportional ist, so wird die erforderliche Kraft dem Quadrate der Entfernung (also der Widerstandslinie w) gleich. Es wird diese allgemeine Erklärung genügen, um die Formel $L = kw^2$ zu begründen.

Als Widerstandslinie w ist jedoch keineswegs die kürzeste Entfernung der Ladung von der freien Fläche anzunehmen, wie dies vielfach mit Unrecht geschieht. Es seien in einem Sprengstücke (Fig. 99) die freien Seiten $ABCDE$ vorhanden, und die Ladung sei für w als kürzeste Widerstandslinie ganz genau berechnet. Die Ladung wird dann, statt den normalen Trichter ab zu werfen, nicht imstande sein, den Widerstand gegen BC zu überwinden, sie wird also nur einen unregelmäßigen Trichter $a_1 b_1$ werfen können. Es muß also in diesem Falle, um einen regelmäßigen Trichter zu erhalten, w_1 als Widerstandslinie

(gewöhnlich Vorgabe genannt) und somit als Maß der erforderlichen Kraft gelten, und daraus folgt, daß man stets die größte Entfernung gegen die freie Fläche und in der Richtung der beabsichtigten Wirkung als Widerstandslinie (Vorgabe) anzusehen habe, also w_1 und nicht w oder b.

In dem vorliegenden Falle wäre das Bohrloch allerdings unrichtig angelegt, denn um nicht die wegen $ABCD$ erforderliche große Ladung auf den weniger Widerstand bietenden Teil DE verschwenden zu müssen, ist es vorteilhafter, zuerst $ABCD$ durch ein entsprechend kürzeres und schwächer geladenes Bohrloch abzuwerfen, und für den verbleibenden Körper DE besonders vorzugehen.

Fig. 99.

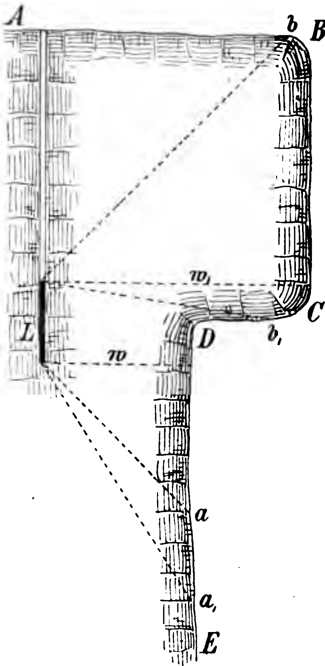
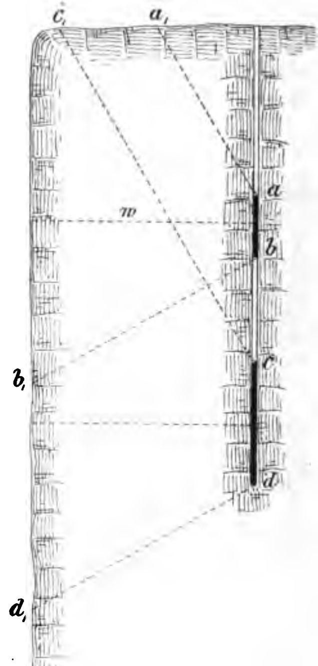


Fig. 100.



Die Sprengungen mit gestreckten Ladungen verfolgen in der Regel und der Natur der Verhältnisse nach eine andere Art der Gesteinsablösung, als solche mit konzentrierten Ladungen. Gewöhnlich soll man innerhalb der Begrenzung eines Stollens oder Schachtes mit der Sprengung vorschreiten, die Ulme, Firsten und Sohlen aber möglichst schonen; oder, wie in größeren Galerien, Steinbrüchen usw., es erlaubt die Natur des Gesteines nicht, daß man über ein bestimmtes Maß hinaus auf Wirkung rechnen könne. Man legt also das Bohrloch so an, daß das Sprengmittel seine Kraft in der gewünschten Richtung äußere, demnach fast parallel mit der in dieser Richtung befindlichen freien Fläche.

Nehmen wir nun an, in einem Bohrloche (Fig. 100) habe die Ladung ab einen Trichter von der Ausdehnung a_1b_1 geworfen. Ist das Bohrloch noch

einmal so lang, so wird die Ladung gleichfalls größer, *cd* werden müssen, um die ganze Bank mit ihrer Wirkung zu treffen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Ladung für den Längenmeter zu bestimmen. Wollte man sie nur nach der Widerstandslinie berechnen, so wäre sie in beiden Fällen gleich groß, was natürlich nicht möglich ist.

Für andere Koeffizienten als die in der Tabelle (s. f. S.) enthaltenen kann die Ladung durch bloße Addition bestimmt werden. Es sei z. B. $k = 0{,}170$, $w = 1{,}30$, so berechnet sich die Ladung für den Längenmeter aus

$$w = 1{,}30 \left\{ \begin{array}{ll} k = 0{,}09 & L = 153 \\ k = 0{,}08 & L = 136 \\ \hline k = 0{,}17 & L = 289\,g \end{array} \right.$$

Zur Bestimmung des Koeffizienten k verfährt man am besten wie folgt:

Man mache an einem mit zwei freien Flächen versehenen Sprengstücke, welches die normalen Verhältnisse besitzt (z. B. an einer unterschrämmten Kohlenbank, einer Felswand in Steinbrüchen), ein Bohrloch von nicht mehr als 2 m Länge, gebe eine schätzungsweise Ladung hinein und beobachte die Wirkung. Je nachdem sie zu stark oder zu schwach war, lade man ein zweites Bohrloch weniger oder mehr, und so fort, bis man zwei oder drei Schüsse erzielt hat, welche, womöglich bei verschiedenen Vorgaben und Bohrlochstiefen, die Kraft des Sprengmittels voll ausgenutzt haben. Aus den hierbei gewonnenen Angaben berechne man vorerst das Gewicht des auf den Längenmeter verbrauchten Sprengstoffes $\frac{L_1}{t} = L$ und dann durch die Formel $k = \frac{L}{w^2}$ den Koeffizienten k. Man hat so ein- für allemal den Maßstab für die Kraft des Sprengstoffs unter den gegebenen Verhältnissen, und kann in jedem weiteren Falle mit Hilfe der Ladetabelle die erforderliche Ladung bestimmen.

Es hätten sich z. B. bei drei Sprengungen folgende Verhältnisse ergeben:

	Bohrlochstiefe t	Vorgabe w	Ladung L_1	Ladung pro Längenmeter $\frac{L_1}{t} = L$
1	1,00	0,80	0,100	0,100
2	0,75	0,70	0,055	0,073
3	1,30	1,30	0,325	0,250

Berechnet man nun die Formel $k = \frac{L}{w^2}$, oder einfacher, sucht man in der Ladetabelle die Vorgabe auf, und in derselben Reihe das der hier gefundenen Ladung für den Meter Bohrlochsmenge am nächsten entsprechende Gewicht, so hat man am Kopfe der betreffenden Längsreihe den zugehörigen Koeffizienten k, in diesem Falle 0,150.

Ladetabelle für Bohrlöcher.

$L = k w^2$, $k = \frac{L}{w^2}$ bei zwei freien Seiten.

Koeffizient k =	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500
Längste Widerstandslinie w = Meter	Ladung in Grammen pro Meter Bohrlochslänge															
0,50	13	15	18	20	23	25	31	38	44	50	63	75	88	100	113	125
0,60	18	22	26	29	33	36	45	54	63	72	90	108	126	144	162	180
0,70	25	30	35	40	45	49	62	74	86	98	113	147	172	196	220	245
0,80	32	39	45	52	58	64	80	96	112	128	160	192	224	256	288	320
0,90	41	49	57	65	73	81	113	122	142	162	203	243	284	324	365	405
1,00	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	500
1,10	61	73	85	97	109	121	152	182	212	242	303	363	424	484	545	605
1,20	72	87	101	116	130	144	180	216	252	288	360	432	504	596	648	720
1,30	85	102	119	136	153	169	212	254	298	338	423	507	592	678	761	845
1,40	98	118	138	157	177	196	245	294	343	392	490	588	686	794	882	980
1,50	113	135	158	180	203	225	282	338	394	450	563	675	788	900	1013	1125
1,60	128	154	180	205	231	256	320	384	448	512	640	768	896	1024	1152	1280
1,70	145	174	203	232	261	289	362	434	506	578	723	867	1012	1156	1301	1445
1,80	162	195	227	260	292	324	405	486	567	648	810	972	1134	1296	1458	1620
1,90	181	217	253	289	325	361	452	542	632	722	903	1083	1264	1444	1625	1805
2,00	200	240	280	320	360	400	500	600	700	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000

Es sei hier wiederholt, daß man das Bohrloch im allgemeinen nicht länger machen soll, als die Vorgabe (Fig. 101).

Nachdem die Fälle, wo zwei freie Flächen vorhanden sind, die Mehrzahl bilden, wurde die Ladetabelle sogleich für diese aufgestellt. Ist nur eine freie Fläche vorhanden, bei sogenannten Einbruchsminen, so wird je nach dem Winkel, unter welchem das Bohrloch angelegt ist, die Ladung zu vergrößern sein. Für den theoretischen Winkel von 48° wäre sie etwa $2^1/_2$mal größer zu nehmen als in der Tabelle. Sind mehr als zwei freie Flächen vorhanden, so ist die Ladung entsprechend zu vermindern, und zwar ungefähr

bei drei freien Flächen auf zwei Drittel,
„ vier „ „ „ die Hälfte,
„ fünf „ „ „ zwei Fünftel,
„ sechs „ „ (Freisteinen) auf ein Drittel

der in der Tabelle gefundenen Ladungen.

Begreiflicherweise wird man hier alle jene Rücksichten zu beobachten haben, auf welche in dem Kapitel über die Anlage der Bohrlöcher aufmerksam gemacht wurde. Man wird z. B. darauf Bedacht nehmen, daß die Trennungssphäre nicht

Fig. 101.

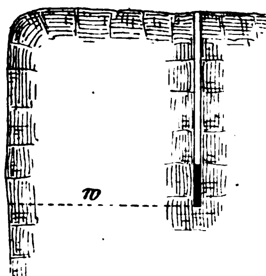
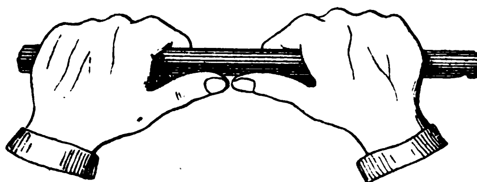


Fig. 102.



gleich ist mit der Rißsphäre, also außerhalb des gebildeten Trichters das Gestein noch auf eine gewisse Entfernung hin aus dem Zusammenhange gebracht wird und mit Handwerkszeugen leicht zu entfernen ist. Man wird auf das spezifische Gewicht des Sprengmittels und damit auf die Breite des Trichters achten, besonders da, wo mehrere Schüsse ineinander wirken sollen, und man wird dann beispielsweise das erste abzufeuernde Bohrloch stärker laden, um die Verspannung aufzuheben und für die nächsten Schüsse eine freie Fläche mehr zu gewinnen.

Bei Strecken, welche stets in demselben Gesteine und in denselben Verhältnissen getrieben werden, läßt sich die Ladung ein- für allemal genau feststellen. Wo aber die Verhältnisse häufig wechseln, wird es nicht zweckmäßig sein, jedesmal eine Berechnung vorzunehmen, es wird sich vielmehr empfehlen — immerhin unter Zugrundelegung der hier angeführten Regeln —, sich so viel Praxis anzueignen, um im gegebenen Falle mit annähernder Sicherheit die Ladung frei zu bestimmen.

Man sei jedoch nicht oberflächlich bei derlei Schätzungen. Die Häuer haben häufig die Eigentümlichkeit, ihre Bohrlochstiefen und Ladungen mit der Hand zu messen (Fig. 102), wobei sie den Ballen der Hand mit ausgestrecktem Daumen

für 6 Zoll oder 15 cm annehmen, und derart am Raumkratzer entlang, mit dem sie die Bohrlochstiefe maßen, eine Hand an die andere stoßen. Kennt der Häuer dann seine Bohrlochstiefe, so pflegt er zu sagen, das Loch erfordere so und so viel „Zolle Ladung". Obzwar auch in dieser Ausdrucksweise sich zeigt, daß die natürliche Erfahrung der Bergleute zu einer Bestimmung der Ladung nach dem Längenmeter rät, so entstehen doch meist Irrtümer aus solchen oberflächlichen Angaben, und selbst gewiegte Bergingenieure haben sich schon dadurch täuschen lassen. Es ist ja nicht gleichgültig, welchen Durchmesser das Bohrloch nach dem Fertigstellen hat, ob es gleichmäßig gut rund gebohrt wurde, ob die Ladung gut angedrückt ist oder nicht, welches spezifische Gewicht das Sprengmittel hat, ob es sehr brisant ist usw. Man trachte deshalb, daß alle Voraussetzungen zutreffen, die man an eine regelrechte Mine stellen kann, dann wird auch die Schätzung größere Richtigkeit haben.

Da man nicht immer eine Wage in die Grube mitnehmen kann, so mögen folgende Anhaltspunkte zur Richtschnur dienen, welche man sich leicht für die jeweiligen besonderen Umstände richtigstellen kann.

Ein Bohrloch, das mit einem Bohrer von 23 mm Schneidenbreite hergestellt wurde, hat in der Regel einen Durchmesser von 25 bis 26 mm an seinem unteren Ende. Wird in einem solchen Bohrloche Sprengpulver gut eingedrückt, oder Dynamit Nr. I (Gur- oder Gelatinedynamit) ordentlich eingepreßt, so wiegt jedes Centimeter der Ladung von Pulver ungefähr 7 g, von Dynamit 10 g. Ein Liter gekörntes Sprengpulver wiegt rund 800 g. Komprimiertes Pulver hat ein spezifisches Gewicht von rund 1,7. Eine Patrone Dynamit von 23 mm Durchmesser und 10 bis $10^1/_2$ cm Länge wiegt rund 70 g, eine Zündpatrone rund 25 g; das spezifische Gewicht von Dynamit ist rund 1,6.

Wenn die für ein Bohrloch erforderliche Ladungsmenge ermittelt ist, so muß man auch in Betracht ziehen, daß die Ladung keinen ungebührlichen Raum im Bohrloche einnehme. Ein fester und guter Besatz des Bohrloches ist unbedingt nötig, wenn man nicht Verschwendung mit dem Sprengmittel treiben will; aus diesem Grunde müssen für den Besatz stets mindestens 20 cm frei bleiben, jedoch soll in der Regel bei Bohrlöchern bis zu 1 m Tiefe die Pulverladung höchstens die Hälfte, die Dynamitladung zwei Drittel des Bohrloches ausfüllen. Innerhalb dieser Grenzen ist es aber, wie früher erörtert, manchmal vorteilhaft, wenn die Ladung eine möglichst große Länge des Bohrloches einnehme, und man wird dies durch Bohrer von kleinerem Querschnitte, durch spezifisch leichtere oder durch schwächere Sprengstoffe, z. B. die geringer dosierten Dynamite, leicht erreichen.

Zündung.

a) Halm- und Schnurzündung. Wenn man Halmzündung benutzt, oder wenn die Zündschnur kurz ist, oder wenn die Arbeiter weit gehen müssen, ehe sie an einen sicheren Ort gelangen können, so klebt man ein Schwefelmännchen (in geschmolzenen Schwefel getauchte Wollfäden) auf den Halm oder in die aufgeschnittene Zündschnur, indem man es an der Lampe ein wenig erwärmt. In gewöhnlichen Fällen wird die Zündschnur auf einen Centimeter der Länge nach aufgeschnitten und aufgebogen, so daß die Pulverseele frei liegt (Fig. 103), und dann mit einer Lunte entzündet. Man soll dies nicht mit der Lampe tun, weil die geteerte Umhüllung dann langsam weiterglimmt und die Explosionsgase verschlechtert.

Fig. 103.



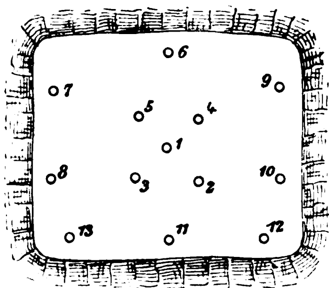
In feuchten Bohrlöchern verwende man die sogenannte doppelte Zündschnur, welche einige Zeit dem Einflusse der Nässe widersteht. Vergeht ein längerer Zwischenraum zwischen Ladung und Zündung, so benutze man nur Kautschukzündschnüre. Sind solche nicht vorhanden, so kann man (nach Heß) gewöhnliche Zündschnüre durch Eintauchen in eine Schmelze von 6 Tln. Wachs, 1 Tl. Asphalt, 1 Tl. Harz wasserdicht machen oder auch sie bloß in Teer tauchen, mit Talg bestreichen usw.

Als Zündhütchen benutze man möglichst starke, gewöhnlich die sogenannten supérieures oder Nr. 5 mit 0,8 g Knallquecksilberfüllung. Sparsamkeit ist nicht rätlich, weil, besonders bei langen Ladungen, durch die kräftige Anfangswirkung die Leistung des Schusses wesentlich erhöht wird.

Es ist stets zu empfehlen, daß eine verläßliche Person das Laden und Zünden der Schüsse besorge. Dieselbe hat die Anzahl derselben zu merken, und in Gemeinschaft mit den anderen Arbeitern die Zahl der Detonationen zu zählen — häufig explodieren zwei Schüsse ganz gleichzeitig —, um sicher zu sein, daß auch alle abgingen. Man warte stets mindestens zehn Minuten, ehe man wieder vor Ort geht, weil selbst die besten Explosionsgase schlechter als Luft sind. Notwendig wird dies dann, wenn man nicht sicher ist, daß sämtliche Schüsse losgingen, oder wenn wirklich einer versagte. Die Zündschnur kann dann unter Umständen langsam fortglimmen und oft erst nach längerer Zeit den Schuß zur Explosion bringen; man tut da mit dem Warten besser zu viel als zu wenig.

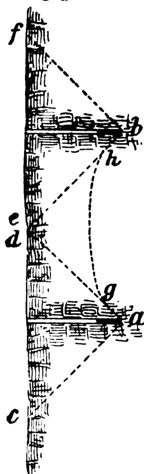
Es sei nochmals darauf verwiesen, daß die Schnurzündung **gestattet**, einzelne Schüsse zu wählen, welche früher abgehen sollen, und damit den **anderen** mehr freie Seiten zu erzeugen. Man gibt den später zu detonierenden Schüssen längere Zündschnüre und **entflammt** sie zuletzt. In nebenstehendem Streckenprofile (Fig. 104) wird z. B. zuerst der **Einbruchs**schuß 1, dann die um ihn **konzentrisch** gelegten **Ausweitungs**schüsse 2, 3, 4 und 5, hierauf der **Firstschuß** 6, die **Ulmschüsse** 7, 8, 9 und 10, und endlich die **Sohlenschüsse** 11, 12 und 13 abgetan.

Fig. 104.



b) Elektrische Zündung. 1. **Allgemeines.** Wo eine Anzahl von Schüssen gleichzeitig abgefeuert werden kann, empfiehlt es sich sehr, die elektrische Zündung einzuführen. Es ist natürlich vorausgesetzt, daß der erste Einbruch schon erfolgt sei, entweder durch Zündung mit Zündschnur oder, besonders wenn mehrere Einbruchsschüsse gemacht werden, gleichfalls durch Elektrizität. Es ist weiter Bedingung, daß stets nur jene Reihe zu zünden ist, welche der freien Seite zunächst liegt, und erst nachdem diese den dahinterliegenden Bohrlöchern eine freie Seite herausgebildet hat, sind diese vorzunehmen. Man wird also in Stollen größeren Querschnittes einige Zeit mit dem Neuherrichten der Zündleitung verlieren müssen, bringt sie aber durch die bessere Wirkung und die geringere Zahl der Bohrlöcher herein.

Fig. 105.



Betrachtet man die Wirkung zweier nebeneinander entstehender Explosionstrichter (Fig. 105), deren Ladungen in entsprechender Entfernung sich befanden und mit Zündschnur gezündet wurden, so bemerkt man, daß ihre Mantellinien sich in einem spitzen Winkel schneiden, daß also das zwischen ihnen befindliche Gestein von der Wirkung unberührt blieb, so daß nur die Trichter *acd* und *bef* entstanden sind. Werden die beiden Ladungen jedoch zu genau gleicher Zeit gezündet, so summieren sich die an den Mantelflächen auftretenden Kräfte und nehmen das Zwischenmittel weg, so daß ein einziger Trichter von der Form *caghbf* ausgeworfen wird. Während man sonach bei der Einzelzündung die Schüsse näher zueinander anlegen muß, um die zwischen den beiden Trichtern befindlichen Gesteinsteile mit zu treffen, kann man bei der elektrischen Zündung die Entfernungen größer bemessen, also weniger Bohrlöcher anlegen. Das Maß dieser Entfernung läßt sich nicht für alle Fälle gültig angeben; durchschnittlich kann man den Trichterhalbmesser um die Hälfte größer annehmen, jedoch hängt dies wesentlich von der Natur des Gesteins ab, und ist nach einigen Schüssen empirisch zu bestimmen.

2. Zünder. Die elektrische Zündung kann erfolgen: a) mit Spaltzündern, b) mit Spaltglühzündern, c) mit Glühzündern.

Die Form und Herstellung der Spaltzünder wurde schon auf S. 34 erklärt. Sie sind allgemein in Verwendung, bedürfen aber zu ihrer Entzündung hochgespannter elektrischer Ströme.

Die Brückenglühzünder sind ähnlich den Spaltzündern mit Ausnahme dessen, daß der Zündsatz schwach leitend gemacht ist. Hierdurch begünstigt er die Bildung einer Reihe von Funken, welche bei sehr geringer Spannung entstehen können. Der Brückenglühzünder ist in Fig. 106 abgebildet, wie er von der Fabrik elektrischer Zünder in Köln geliefert wird. Er ist aus zwei Metallstreifen hergestellt, welche voneinander durch einen Pappstreifen getrennt sind und durch Eintauchen eine kleine Kappe von Zündsatz erhalten. Die Leitungsdrähte sind an den Streifen angelötet und das ganze in Schwefelmasse eingebettet und in der Hülse befestigt, welche dann in ihrem unteren Ende das Zündhütchen aufnimmt.

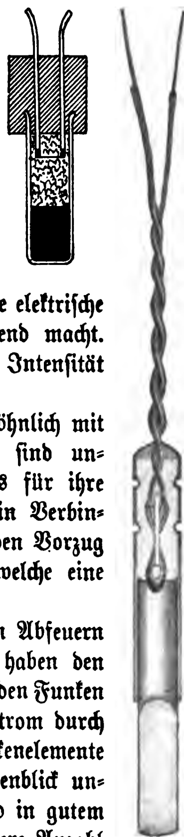


Fig. 107. Fig. 106.

Die Glühzünder (Fig. 107) sind den Spaltzündern ähnlich hergestellt, jedoch reichen die Messingdrähte einzeln in die Gußmasse und sind mit einem ganz dünnen Platindrahte untereinander verbunden, welchen der hindurchgeleitete elektrische Strom infolge des gebotenen großen Widerstandes glühend macht. Glühzünder haben den Nachteil, daß sie Ströme von hoher Intensität (wenn auch geringer Spannung) bedürfen.

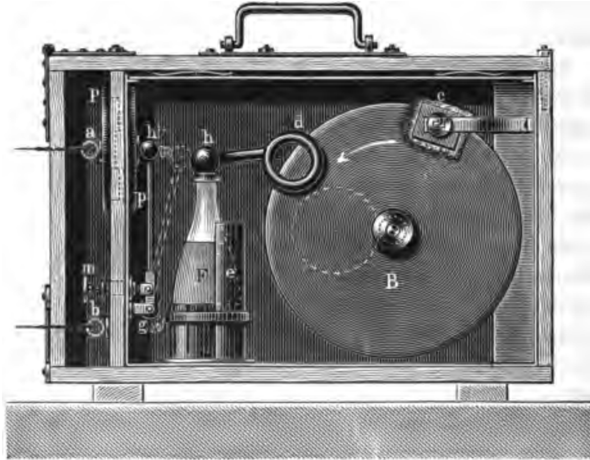
3. Zündapparate. Die Spaltzünder werden gewöhnlich mit Reibungszündapparaten abgeschossen. Influenzmaschinen sind unhandlich und erfordern zu viel wissenschaftliche Kenntnis für ihre Behandlung. Induktionsapparate (galvanische Elemente in Verbindung mit einem Ruhmkorffschen Induktorium) hätten den Vorzug der Billigkeit, sowie außerordentlich kräftiger Ströme, welche eine große Anzahl von Schüssen auf einmal abzutun gestatten.

Neuerlich werden in Deutschland Trockenelemente zum Abfeuern von Zündern geringer Spannung eingeführt. Dieselben haben den Vorteil, daß ihre Wirkung nicht von einem kurze Zeit dauernden Funken oder Glühen abhängt, sondern daß ein ununterbrochener Strom durch die Zünder geschickt werden kann. Andererseits haben Trockenelemente nur eine beschränkte Dauer und können irgend einen Augenblick unbrauchbar werden, so daß sie fortwährend kontrolliert und in gutem Zustande erhalten werden müssen. Um ferner eine größere Anzahl von Zündern aus einiger Entfernung auf einmal abtun zu können, bedarf es einer aus so vielen Elementen bestehenden Batterie, daß sie nicht mehr tragbar ist.

Hat man nur eine mittlere Zünderanzahl abzutun, so sind magneto- und dynamo-elektrische Zündapparate sehr vorteilhaft, weil sie stets sicher wirken und nicht durch Feuchtigkeit leiden. Bei der Verwendung von Glühzündern dürfte jedoch die Anzahl von 12 das höchste sein, was mit einem handlichen Apparate noch zu leisten ist.

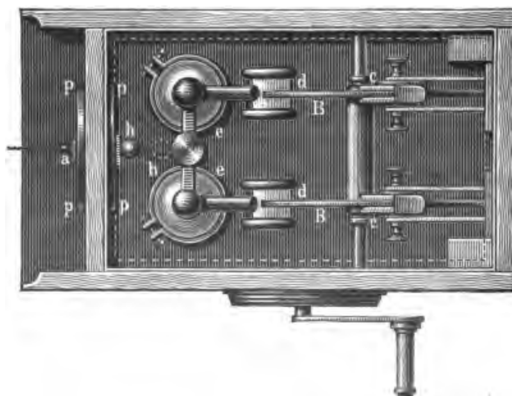
Reibungselektrische Maschinen haben den Nachteil, daß sie gegen Feuchtigkeit sehr empfindlich sind, und daß es leicht ist, durch zu viel Umdrehungen (zu starkes Laden) den Kondensator durchzuschlagen. Sie müssen also im Trockenen aufbewahrt und häufig versucht werden, um sie nicht gerade im Augenblicke der

Fig. 108.



Sprengung versagen zu sehen. Trotzdem werden sie häufig verwendet, weil sie einfach zu handhaben sind, die hierzu erforderlichen Zünder leicht beschafft werden können, nur dünne Leitungen notwendig sind und bis zu 40 Zünder auf einmal aus sehr großen Entfernungen abzutun gestatten.

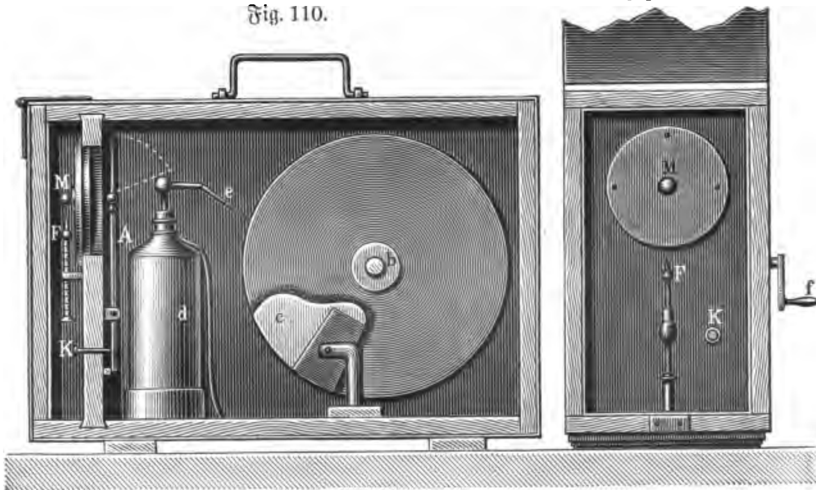
Fig. 109.



Die Reibungszündmaschine von Bornhardt in Braunschweig (Fig. 108 u. 109) besteht aus zwei Hartgummischeiben *B*, welche, durch eine Zahnradübersetzung in rasche Drehung versetzt, von zwei Katzenpelzen *c* gerieben werden. Die positive Elektrizität wird durch zwei Paar Saugkämme *dd* und die Knöpfe *hh* zur inneren Belegung der Leydener Flaschen *cc* geführt. Durch einen Druck

auf den Knopf *m* wird der bei *g* mit der äußeren Belegung verbundene Entlader gegen die Knöpfe *hh* gebracht, indem sein oberer Knopf eine mit dem Kontaktringe *a* verbundene Drahtspirale nachzieht. Die übrige Einrichtung ist aus den Zeichnungen deutlich zu sehen. Im Inneren des Apparates, welcher in einem Eisenblechkasten und dieser wieder in einem Holzkasten steht, ist Rotkohle zur Aufnahme der Feuchtigkeit eingelegt. Mit dem Bornhardtschen Apparate kann nicht nur, sondern wird auch empfohlen, abwechselnd nach rechts und links zu drehen. Er gestattet 30 bis 40 Schüsse sicher abzutun. Bevor er in Gebrauch genommen wird, hängt man die an der Seite befindlichen Kettchen an die Kontaktringe *a* und *b* und macht 12 bis 15 Umdrehungen an der Kurbel; beim Niederdrücken des Knopfes muß dann der Funken zwischen sämtlichen 15 seitlich eingeschlagenen Metallknöpfen sich bilden.

Fig. 110. Fig. 111.



Ein ähnlicher Apparat der Aktiengesellschaft Dynamit Nobel in Wien (Fig. 110 u. 111) hat eine andere Form des Entladers und eine Schaltvorrichtung, durch welche die beiden Kontakte bis zum Augenblicke der Entladung kurz geschlossen bleiben, so daß eine vorzeitige Entladung nicht möglich ist. Der Apparat steht vorteilhaft in einem Holzgehäuse, gestattet aber infolge der Stellung der Reibkissen die Drehung nur in einem Sinne.

Der magneto-elektrische Zündapparat von Breguet in Paris (Fig. 112) besteht aus einem Hufeisenmagnete *NON*, dessen beide Pole Drahtspulen *EE*, und diese an ihren Eisenkernen den um eine Achse drehbaren Anker *AA* tragen. Schlägt man auf den Knopf *B*, so wird der Anker vom Magnete abgerissen, und es entsteht ein kräftiger Induktionsstrom, welcher von den Klemmen in die Zündleitung geht. Die elastische Feder *R* hat den Zweck, durch Berührung des Kontaktes *s* zu Beginn des Induktionsstromes denselben noch durch die Drahtspulen zu führen, und dadurch die Magnete zu verstärken. Der Apparat von Breguet gestattet etwa acht Brücken- oder Glühzünder abzutun.

Ein von **Marcus** gebauter magneto-elektrischer Rotationsapparat ist wohl bis zu 30 Schüssen verwendbar, aber zu schwer und zu teuer.

Fig. 112.

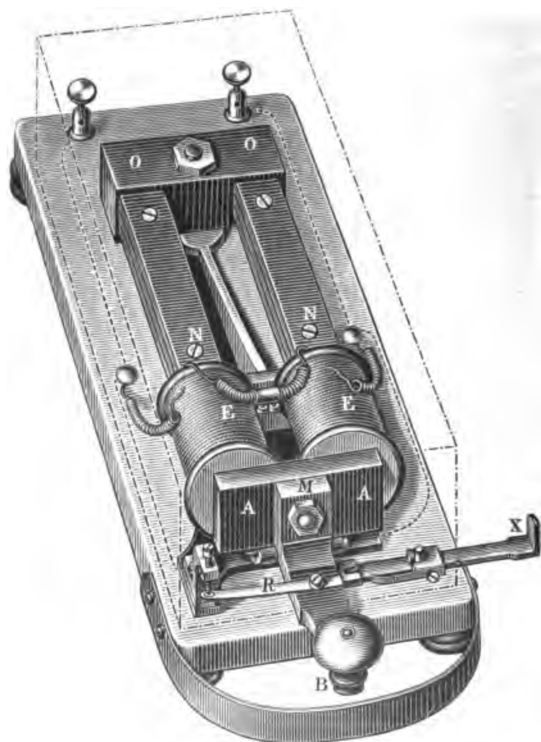
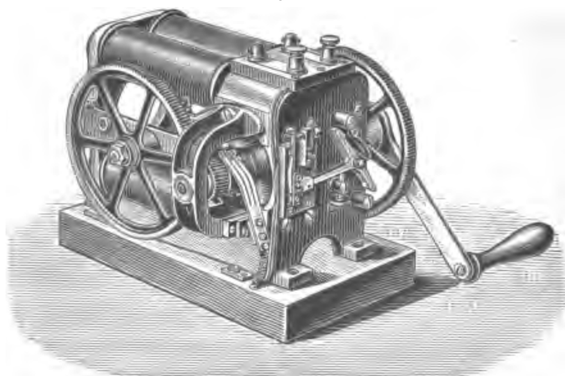


Fig. 113.



Der Minenzündapparat von **Bürgin** in Basel, welcher bei der schweizerischen Genietruppe eingeführt ist, enthält eine kleine dynamo-elektrische Maschine,

System Bürgin (Fig. 113), welche durch ein Zahnradgetriebe in rasche Umdrehung versetzt wird. Ist ein genügend starker Strom erzeugt, so ziehen die Elektromagnete einen Anker an, welcher den Strom unterbricht und einen sogenannten Extrastrom entstehen läßt, welcher in die Zündleitung geführt wird.

Fig. 114.

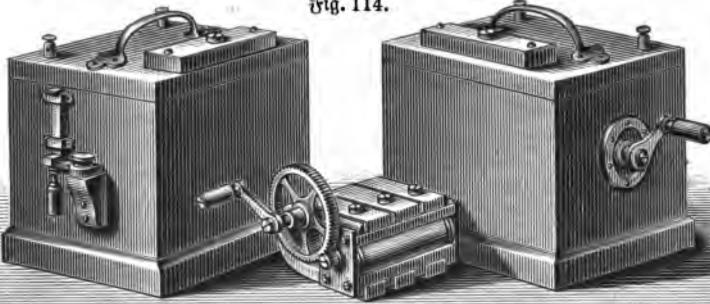


Fig. 115.

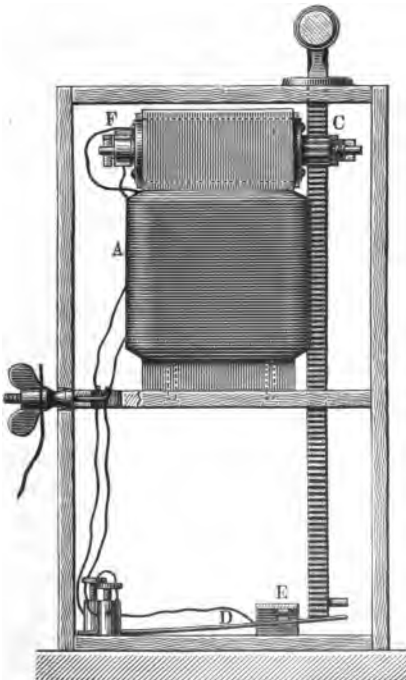
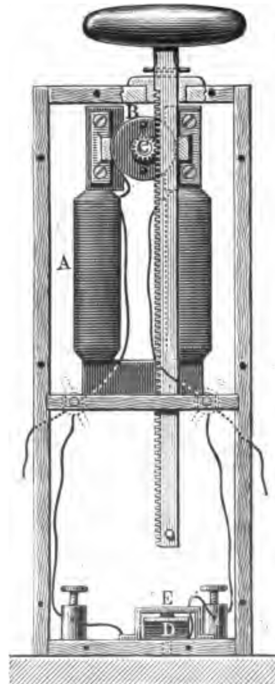


Fig. 116.



Die Bürginsche Maschine kann sowohl für Spaltzünder wie für Glühzünder verwendet werden, und sie gestattet, die Schüsse nach Belieben parallel oder hintereinander zu schalten, von denen 40 bequem abgetan werden können.

Ein von Alois Zettler in München in den Handel gebrachter magnetoelektrischer Zündapparat (Fig. 114) besteht aus einem Magnetinduktor, ähnlich

den Läutinduktoren bei Telephonen, dessen I-Anker in besonderer Weise umwickelt ist. Der Apparat liefert Wechselströme, da er keinen Kommutator besitzt, und soll vorzügliches leisten. Nach Versuchen von Prof. Carl soll derselbe bis zu 80 parallel geschaltete Zünder abtun; sein Gewicht beträgt nur 7 kg.

Eine sehr verbreitete Zündmaschine ist in Fig. 115 und 116 abgebildet. Sie besteht aus dem Elektromagnete *A*, um welchen eine Zylinderarmatur *B*, durch die Zahnstange *P* und das Zahnrad *C* in Drehung versetzt, sich bewegt; ein Kommutator *F* richtet den Strom gleich. Beim Niedergange schlägt die Zahnstange gegen die Feder *d* und unterbricht so den kurzen Schluß, wodurch der Strom bei den Schaltklemmen hinausgeht. Der Apparat ist sehr bequem und billig, und kann bis zu 12 Glühzünder abtun.

Fig. 117.



Eine ähnliche, von der Fabrik elektrischer Zünder in Köln angefertigte Maschine ist in Fig. 117 ersichtlich.

4. Leitung. Es ist unbedingt rätlich, zur Leitung der Elektrizität besondere positive und negative Drähte zu führen. Es ist zwar möglich, die negative Leitung durch die Erde bewirken zu lassen, indem man vom negativen Kontakte der Maschine einen Draht in die Erde gehen läßt, und ebenso einen äußersten Draht der Schüsse in die Erde steckt, allein die Zündung ist nicht immer sicher, und man verliert an Stromstärke.

Bei Reibungszündmaschinen, welche sehr hochgespannte Ströme liefern, ist das Leitungsmaterial von geringem Einfluß. Ich habe auf 600 m Entfernung mit Eisendrähten von 0,5 mm Dicke noch 10 Schüsse auf einmal abtun können. In der Praxis wird man es aber nie auf solche äußerste Fälle ankommen lassen, um eben ganz sicher zu gehen. Die Anzahl der abzufeuernden Schüsse wird in dem Maße geringer, als der Widerstand in der Leitung wächst. Dieser setzt sich zusammen aus den Luftwiderständen in den Spalten der Zünder, welche herabzumindern leider durch die Art der Herstellung der Spalte nur bis zu einer gewissen Grenze möglich ist, und aus dem Widerstande in der Drahtleitung, welcher um so größer wird, je dünner der Draht und je schlechter sein Material ist. Nimmt man den Leitungswider=

stand des Kupfers zu 1 an, so ist (nach v. Waltenhofen) der von Messing 4,04, von Eisen 7,11 und von Platin 9,20. Es ist also stets vorteilhaft, Kupferdrähte zu benutzen.

Für Bornhardtsche Reibungszündmaschinen mit zwei Kondensatoren genügt im allgemeinen bis auf 400 m Entfernung ein Kupferdraht von 0,5 bis 0,8 mm Dicke, wenn man an der Kurbel 30 Umdrehungen macht. Bei magneto-elektrischen und galvanischen Zündmaschinen empfiehlt es sich der Sicherheit wegen, für Leitungen bis zu 200 m Länge einen Draht von 2 mm Stärke zu nehmen und bei längeren Leitungen den Querschnitt im Verhältnis zur Länge zu vergrößern (also für 250 m 2,3 mm Dicke, für 300 m 2,5 mm, für 400 m 2,8 mm usw.).

Ich rate dringend, die Hauptleitung ein für allemal anzulegen und gut instand zu halten. Man richte sich einen kleinen Verschlag ein, in welchen die Arbeiter sich zurückziehen können, und wo die Maschine stets aufgestellt wird. Der Fall, daß eine solche beständige Hauptleitung nicht eingerichtet werden könnte, wird sich nur selten ereignen, man wird vielmehr stets Telegraphenstangen aufstellen oder die Leitung in dem Gestein befestigen, im Notfall durch Bretterlutten führen können. Der Zeitverlust, welcher durch das Auf- und Abwickeln, und besonders durch das Verwirren der Drähte entsteht, ist ein Hauptgrund, warum die elektrische Zündung dem Arbeiter mißliebig ist.

Fig. 118.

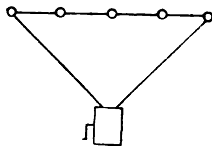
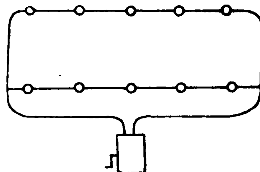


Fig. 119.



Fig. 120.



Von dem Verschlage aus führe man auf Porzellanisolatoren die Hauptleitung bis in die Nähe des Sprengortes, und zwar bis an einen solchen Punkt, wo eine Beschädigung durch die Sprengarbeit ausgeschlossen ist. Ist die Grube trocken und das Gestein nicht metallhaltig, so kann man die Drähte nackt auf Isolatoren legen, wenn man sie dabei gut spannt und etwa 5 cm vom Gestein und 20 cm voneinander abstehen läßt. In allen anderen Fällen, ebenso bei Hauptleitungen im Freien, benutze man mit Kautschuk isolierte Drähte. Vorteilhaft, weil mehr Widerstand gegen zufällige Beschädigung bietend, und weniger Isolatoren benötigend, sind Doppelkabel, wie sie z. B. von Felten und Guilleaume in Mülheim am Rhein geliefert werden.

Die Anordnung (Schaltung) der Zünder kann bei Reibungszündmaschinen nur hintereinander (auf Spannung), Fig. 118, bei den dynamo-elektrischen Maschinen auch parallel (auf Quantität), Fig. 119 oder gemischt, Fig. 120 erfolgen. Während bei der ersten Schaltungsweise ein schlechter Zünder die nach ihm folgenden versagen macht, ist bei der Parallelschaltung jeder Zünder vom anderen unabhängig.

Bei der Schaltung auf Spannung kann es vorkommen, daß einzelne Zünder in der Reihe übersprungen werden, ohne loszugehen. Dies kann davon

herrühren, daß die Zünder zu weite Spalten haben, die Leitung zu lang oder schlecht gelegt ist, daß man die Kondensatoren der Maschine durch zu wenig Umdrehungen nicht genügend geladen hat, oder daß die Maschine nicht mehr tadellos arbeitet. In diesem Falle verbinde man die stehengebliebenen Schüsse neuerdings mit der Maschine, und sie werden dann gewöhnlich anstandslos abgehen.

Fig. 121.

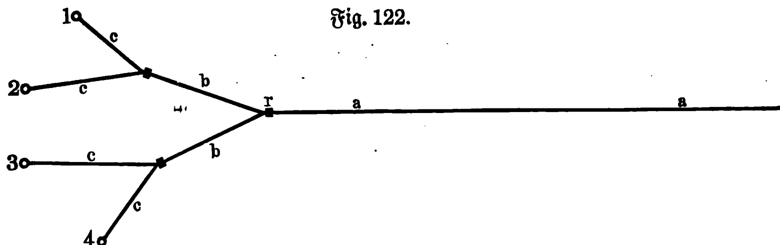


Die Verbindung der Drähte hat sorgfältig zu geschehen. Bei der Hauptleitung mache man stets einen regelrechten Bund, indem man die Isolierung mit dem Messer abnimmt und die Drähte blank schabt. Wenn möglich, verlöte man die Verbindungsstelle, gebe aber in jedem Falle einen Streifen Guttapercha oder auch nur in Wachs getauchtes Baumwollgewebe darüber, und schnüre mit feinem Messingdraht fest zu. Am Ende der Hauptleitung lasse man die Drähte in ein Brett münden, und befestige sie an Metallringen oder an Klemmschrauben, so daß man die von den Bohrlöchern kommenden Drähte nur daran zu hängen hat.

Von der Hauptleitung führe man dünnen, weichen Messingdraht oder auch ausgeglühten Eisendraht in gerader Linie zu den Bohrlöchern. Ist die Entfernung zu groß, oder sind Hindernisse im Wege, so schlage man Holzpflöcke ein und wickele die Leitung herum. Man verbinde zuerst die einzelnen Schüsse untereinander, und sorge dafür, daß die Drähte nirgends die Erde berühren, was durch untergelegte Holzstückchen leicht zu vermeiden ist; ebenso dürfen die Drähte sich niemals kreuzen, und wo dies nicht zu umgehen ist, lege man ein wenigstens 10 cm hohes Brettstück zwischen die beiden Drähte. Wenn die Verbindungsdrähte nicht die Erde berühren, so ist die Isolierung unnötig, jedoch dürfen an den Verbindungsstellen keine Enden wegstehen, sie müssen vielmehr gut abgebogen sein.

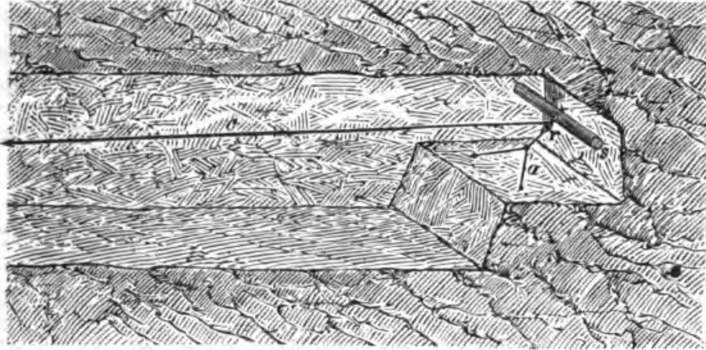
Sind alle Schüsse verbunden, so führe man die an den Enden freigebliebenen zwei Drähte an je einen Ring der Hauptleitung, oder wenn man keine solche hat, an die Kontaktringe der Maschine. Man beachte, daß die Drähte an die Hauptleitung oder die Maschine nicht früher zu hängen sind, als bis sämtliche Schüsse hergerichtet und die Arbeiter in Sicherheit sind. Es bleibt nämlich gewöhnlich etwas Elektrizität in den Kondensatoren zurück, welche bei unvorsichtigem Gebahren leicht eine vorzeitige Detonation

Fig. 122.



herbeiführen kann. Aus dem gleichen Grunde soll der Aufseher die Kurbel der Maschine bei sich verwahren, und vor dem Einhängen der Drähte an die

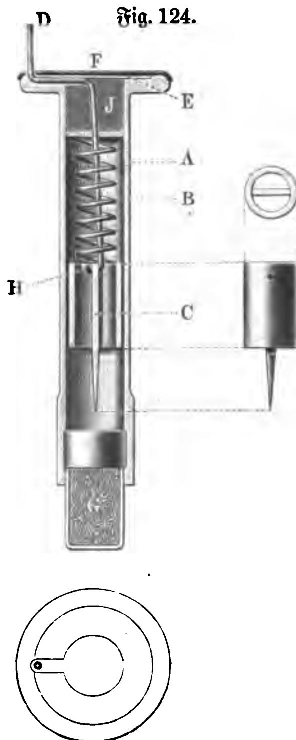
Fig. 123.



Maschine erst diese selbst entladen, indem er die Funkennägel durch die Kettchen mit der Maschine verbindet und abdrückt.

Selbst bei elektrischer Zündung ist es nicht ratsam, sich sofort einem Versager zu nähern. Es sind Fälle vorgekommen, daß ein Schuß nach längerer Zeit erst losging, nicht infolge sekundärer elektrischer Wirkung, sondern wahrscheinlich dadurch, daß ein fehlerhaftes Zündhütchen die Ladung nicht detonierte, aber durch den Zündsatz sie brennen machte, bis sie im Verlaufe der Zeit detonierte.

Fig. 124.



c) Ersatzmittel für die elektrische Zündung. Zum Ersatz der elektrischen Zündung, und um in Schlagwettergruben zünden zu können, verwendet General Joh. Lauer eine Reibungszündung. Dieselbe besteht aus einer Papierhülse (Fig. 121 bis 123), in welche eine Metallhülse *b* mit dem Zündsatze (aus chlorsaurem Kali- und Schwefelantimon) eingelassen ist. Ein gezahnter Reibdraht reicht, durch Holzstücke *g* geführt, in den Zündsatz. Am Boden der Hülse ist ein Zündhütchen eingesetzt, und durch eine Dichtungsmasse festgehalten. Durch Ziehen an dem Reibdraht entzündet sich der Zündsatz und durch ihn das Zündhütchen. Dieser Reibungszünder wird wie eine Zündschnur auf die Ladung gesetzt, und die einzelnen Schüsse durch eine Abziehschnur miteinander verbunden, welche über Rollen, Nägel oder dergleichen an einen sicheren Ort geführt ist, von wo

Fig. 125.

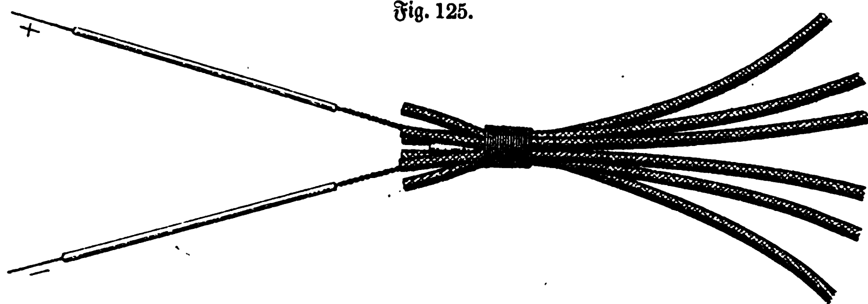


Fig. 126.



Fig. 127.

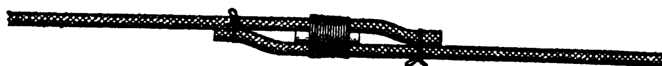


Fig. 128.

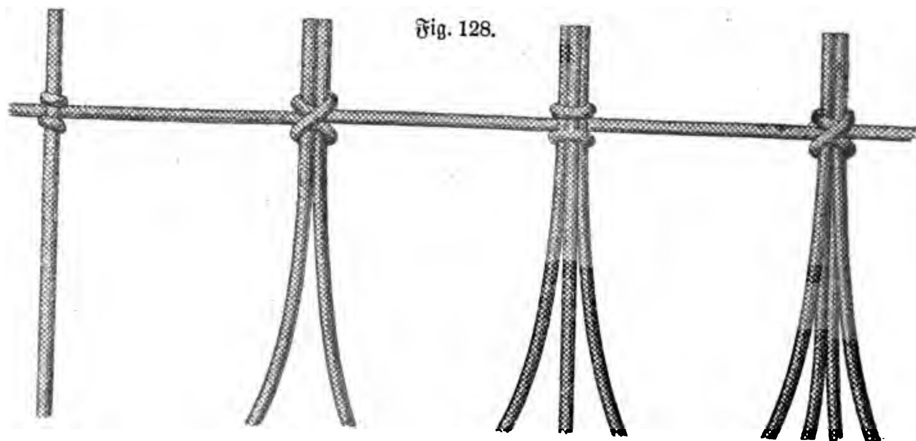
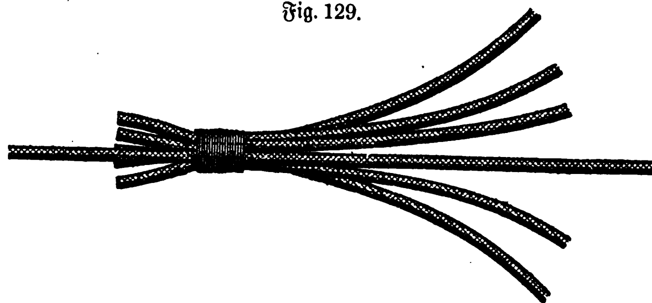


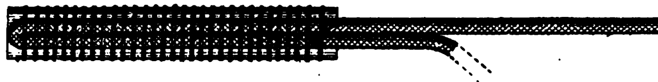
Fig. 129.



sie abgezogen wird. Die einzelnen, zu den Schüssen führenden Schnüre müssen gleichmäßig angespannt sein, um keine Versager zu erhalten.

Ein anderer viel verwendeter Zünder ist Tirmanns Perkussionszünder (Fig. 124). Er besteht aus einer Metallhülse *A* mit einem Zündhütchen *G* am unteren Ende eingeschoben und einem Kork *J* am oberen Ende. Ein gebogener Draht *D* trägt den Stahlbolzen *C* und wird durch eine Stahlfeder *B*

Fig. 130.



in Position gehalten. Eine Pappscheibe *E* und ein Stahlring *F* dichten das Ganze ab. Beim Abziehen streckt sich vor allem der Draht aus und schneidet die Pappscheibe durch, um dann aus dem Schlagbolzen ganz herausgezogen zu werden. Dieser wird dadurch frei, schießt nach vorwärts und detoniert den Knallsatz. Tirmanns Zünder hat sich als vollständig sicher in Schlagwettergruben erwiesen und der Prozentsatz von Versagern ist nicht mehr als 0,05 Proz. Die zum Abziehen nötige Kraft ist ungefähr $15^{1}/_{2}$ kg, infolgedessen verträgt der Zünder ziemlich rauhe Behandlung.

Fig. 131.

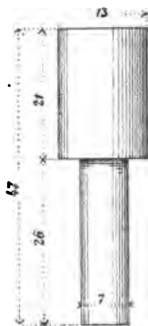


Fig. 132.



Eine bei der österreich-ungarischen Genietruppe eingeführte detonierende Zündschnur von General Philipp Heß sollte wohl auch noch zur Sprengarbeit eingeführt werden. Dieselbe besteht aus Baumwollfäden, welche durch einen Knallquecksilberbrei geführt und dann übersponnen werden. Die detonierende Zündschnur hat den Vorteil, daß man sie unmittelbar in die Dynamitpatronen stecken kann, ohne ein Zündhütchen geben zu müssen. Die einzelnen Schüsse werden dann bloß durch Knoten miteinander verbunden, wie aus den Fig. 125 bis 132 ersichtlich ist, und das letzte Ende führt man in einen Muff, auf dessen entgegenstehender Seite ein Zündhütchen mit Zündschnur eingesetzt wird. Diese detonierende Zündschnur verpflanzt die Explosion mit einer Geschwindigkeit von über 5000 m in der Sekunde fort, die einzelnen Schüsse detonieren also ganz gleichzeitig.

Von der Firma Bickford Smith u. Comp. in Tuckingmill wird eine Momentzündschnur in den Verkehr gebracht, welche im wesentlichen wie eine gewöhnliche Zündschnur hergestellt ist, jedoch statt der Pulverseele einen durch Mehlpulverbrei gezogenen Docht enthält. Zum gleichzeitigen Abfeuern mehrerer Schüsse werden die Schnüre in eine Blechhülse gesteckt, welche an ihrem anderen Ende eine Pulverscheibe und einen durchlöcherten Holzpflock zum Durchstecken einer Sicherheitszündschnur trägt. Das Ganze wird mit Kautschuk-

paste abgedichtet. Diese Momentzündschnur brennt mit einer Schnelligkeit von etwa 150 m per Sekunde, und hat nur den Nachteil, daß man im Vorhinein die Anzahl der Schüsse und ihre Entfernung kennen muß, um schon fertig hergerichtete Zündungen zu bestellen, weil die Zurichtung in der Grube zu umständlich wäre. In Strecken mit gleichmäßigem Vortriebe, z. B. in Bohrmaschinenbetrieben, wird sie ausgezeichnete Verwendung finden.

Betriebsergebnisse.

Man wird natürlich, und nicht in letzter Linie, nach möglichst genauen Angaben suchen, welche die Leistung der Sprengarbeit beurteilen lassen. Es wäre mir ein leichtes, eine unendliche Reihe von Ziffern aufzuführen, welche an verschiedenen Orten festgestellt wurden, aber nichts könnte verwirrender sein. Wer sich vor Augen hält, daß die Gesteinsverhältnisse überall verschieden sind, daß die größere oder geringere Weite des Arbeitsortes eine verschieden starke Verspannung des Gesteins bedingt, daß entweder der Zeitgewinn, oder die gewünschte Form des Sprenggutes, oder die Geschicklichkeit der Arbeiter nur zu oft bestimmend einwirken, daß die Arbeitslöhne überall andere sind, dem wird klar sein, daß es nicht möglich ist, allgemein gültige Angaben über die Leistungen bei der Sprengarbeit zu machen. Ich will mich deshalb auch damit begnügen, in großen Zügen mittlere Erfahrungsresultate anzuführen; wer mitten in der Arbeit lebt, kann mit geringer Mühe die Leistungen in seinem Falle beobachten, und wer eine Arbeit erst unternehmen will, der muß entweder vorher Versuche machen, oder auf Grund seiner früheren Erfahrungen eine Beurteilung wagen.

Als mittlere Leistung in der Stunde kann angesehen werden:

	Handbohrung mit Gußstahlgezähe, Bohrlöcher von 26 mm	Maschinenbohrung, Bohrlöcher von 60 bis 80 mm
In Eisenstein	0,18 m	0,90 m
„ Granit	0,40 bis 0,60 m	2,00 „
„ Grauwacke	0,50 m	2,00 „
„ Schiefer	0,60 „	2,50 „
„ Kalkstein und Dolomit .	0,70 „	2,50 „
„ Quarz (milde) . . .	0,80 „	3,00 „

Hierbei sind die Ruhepausen und die Zeit für das Schmanden mitgerechnet. Dies gilt, wie gesagt, als großer Durchschnitt, denn die erforderliche Kraft und mit ihr die Zeit hängen sehr wesentlich von der Richtung des Bohrloches ab, wie aus folgenden Versuchen von Prof. Höfer mit Bohrlöchern von 27 mm in der Grauwacke von Přibram hervorgeht:

Richtung des Bohrloches	Für 1 cm Bohrloch benötigte Zeit in Sekunden
85° fallend	60
60° „	74
52° „	95
27° „	111
2° „	101
0° —	127
24° steigend	136

Versuche von Oberbergrat Jarolimek im dolomitischen Kalk von Raibl ergaben bei 50 mm Bohrlöchern:

60° fallend	76
10° steigend	113
45° „	136

In noch viel weiteren Grenzen bewegt sich der Sprengmittelverbrauch, welcher im allgemeinen um so geringer wird, je weiter der Arbeitsort ist. Man kann den Verbrauch in Bergwerksstollen pro Cubikmeter Gestein wie folgt schätzen:

	Gurdynamit	Gelatinedynamit	Sprenggelatine
Gneis und Grauwacke . .	2,000 kg	1,700 kg	1,400 kg
Kalkstein	1,500 „	1,250 „	1,000 „
Sandstein	1,000 „	0,850 „	0,700 „

In der Kohle benötigt man auf das Cubikmeter zwischen 70 und 100 g Dynamit Nr. II und zwischen 100 und 150 g Nr. III, je nach ihrer Zähigkeit.

Für Riesenminen wurde ein Verbrauch von 110 bis 190 g Dynamit Nr. III auf das Cubikmeter Gestein beobachtet.

Bei Eisenbahnbauten, wo der Zeitgewinn in die erste Linie tritt, steigt der Sprengmittelverbrauch bedeutend. Bei Anwendung von Maschinenbohrung, wo den Bohrlöchern nicht immer die günstigste Lage gegeben werden kann, erhöht er sich noch mehr. Beim Gotthardtunnel hat man auf der Seite von Airolo im Richtstollen 4,18 kg Gurdynamit, oder 2,8 kg Sprenggelatine, und in der Ausweitung 2 kg Gurdynamit oder 1,02 kg Sprenggelatine auf das Cubikmeter Gestein (Glimmergneis) gebraucht.

Man benötigt durchschnittlich 10 Zündhütchen und 8 m Zündschnur für jedes Kilogramm Dynamit; bei tiefen Schüssen natürlich weniger von ersteren, und mehr von letzterer.

Am schwierigsten sind Angaben über die gesamten Gewinnungskosten. In Gruben kann man als durchschnittliches Gedinge annehmen:

In Gestein von der Härte des	Gneis und Grauwacke	30 Mk.	für das Cubikmeter Gestein.
	Kalkstein	24 „	
	Sandstein	18 „	

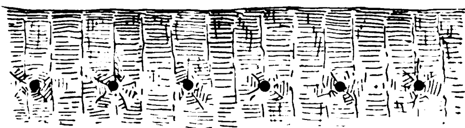
Sprengmittel, Geleuchte und Gezähereparatur inbegriffen.

Verschiedene Sprengarbeiten.

a) Gewinnung von Bau- und Werksteinen. Bei dieser Art der Sprengarbeit handelt es sich in erster Linie darum, das Gestein so wenig als möglich zu zertrümmern, bei Werksteinen sogar, es unverletzt abzulösen.

Bei der Gewinnung von Bausteinen wird man die Bohrlöcher möglichst tief (bis zu 3 m und mehr), mit entsprechenden Vorgaben und in größeren Entfernungen voneinander anlegen. Schwächere Dynamite werden sich sehr wirksam erweisen; soll das Gestein in ganz großen Blöcken brechen und hinter dem Bohrloche durchaus nicht verletzt werden, so sind nur Schwarzpulver oder Dynamite schwächster Gattung zu nehmen. Die Ladung ist so gering zu bestimmen, daß das Gestein nur gespalten wird, aber mit Brecheisen leicht abzuheben ist.

Fig. 133.



Um eigentliche Werksteine, Platten usw. zu erzielen, lege man in der gewünschten Linie, gleich weit voneinander entfernt, eine Reihe von Bohrlöchern an (Fig. 133), fülle sie mit Wasser, gebe in jedes oben eine halbe Patrone Dynamit Nr. I und zünde elektrisch; der Block wird dann unverletzt abfallen. Man hat auf diese Weise Granitplatten von 20 cm Dicke und 5 m Länge gewonnen.

Hat man einen größeren Block zu zerteilen, so bohre man ein Loch bis auf dessen Mitte, fülle es in gleicher Weise mit Wasser und gebe eine halbe Patrone auf.

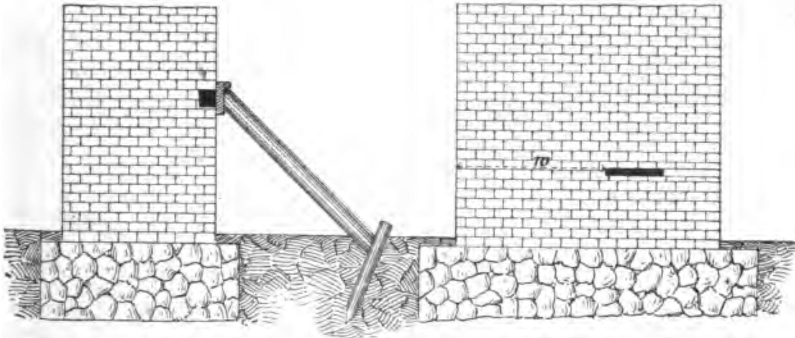
b) Sprengung von Mauerwerk. Ich führe hier und im nachfolgenden eine Reihe von Sprengarbeiten an, welche in der Industrie oder Landwirtschaft manchmal vorkommen. Es genügen dafür wenige Andeutungen, weil in solchen Fällen gewöhnlich große Sparsamkeit mit dem Sprengmittel nicht Bedingung ist; wer ausgedehntere Arbeiten gleicher Art auszuführen hat, wird an der Hand dieser Angaben leicht auch eine genaue Berechnung anstellen können.

Mauern unter 1,50 m Dicke werden am einfachsten durch Handarbeit abgetragen. Will man jedoch rascher zum Ziele gelangen, so meißelt man oberhalb des Fundamentes Höhlungen aus (Fig. 134), in welche Gelatinedynamit, die Patronen zu Bündeln gebunden oder in Holzkistchen eingedrückt,

gelegt wird. Die Höhlungen sind in Entfernungen gleich der doppelten Mauerstärke voneinander zu machen, und die Ladung, nach der Formel $L = {}^1/_2\, d^2$ (d = Mauerstärke) berechnet, durch ein starkes Brett und Verspreizung gegen den Erdboden zu verdämmen. Elektrische Zündung der gesamten, längs der Mauer verteilten Schüsse ist sehr vorteilhaft und vermindert die Gefahr beim Arbeiten.

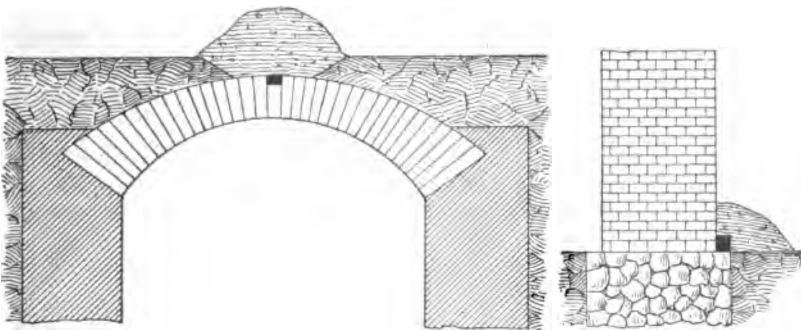
Mauern über 1,50 m Stärke, sowie Futtermauern werden durch Bohrschüsse zerstört. Man treibe die Bohrlöcher bis in die Mitte der Mauer, und

Fig. 134. Fig. 135.



berechne die Ladung nach der auf S. 74 befindlichen Tabelle, wobei w = halbe Mauerdicke. Ist das Bohrloch nicht bis zur Mitte der Mauer geführt (Fig. 135), so ist w gleich der Entfernung von der Ladung bis zu der dem Bohrloche entgegengesetzten Seite zu nehmen. Für belastete Mauern sind die Bohrlöcher

Fig. 136. Fig. 137.



näher zueinander anzuordnen. Gewölbe werden am sichersten zerstört, indem man auf die Mitte der ganzen Länge nach in eine ausgehauene Rinne eine Dynamitwurst legt (Fig. 136) und etwa 0,50 m hoch mit Erde bedeckt.

In Ausnahmefällen, wo es sich um rasche Zerstörung handelt, kann man eine entsprechend verstärkte Ladung an den Mauerfuß legen und mit Erde bedecken (Fig. 137), jedoch ist der Sprengmittelverbrauch sehr bedeutend, wenn die Wirkung sicher sein soll.

Zur Abtragung von gemauerten Schornsteinen legt man Bohrschüsse auf jener Seite an, wo der Schornstein niederfallen soll, und läßt sie allmählich gegen den Rauchkanal vorrücken. Fig. 138 und 139 zeigen eine von Leutnant Wiber bei Aszód ausgeführte Umlegung eines Schornsteins.

Fig. 138.

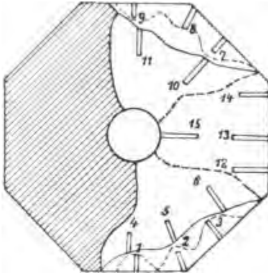
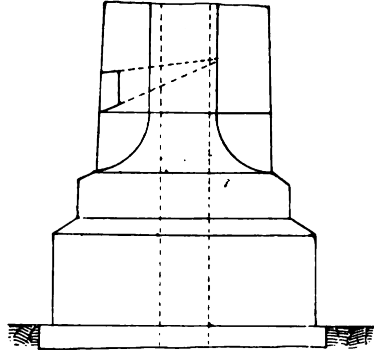
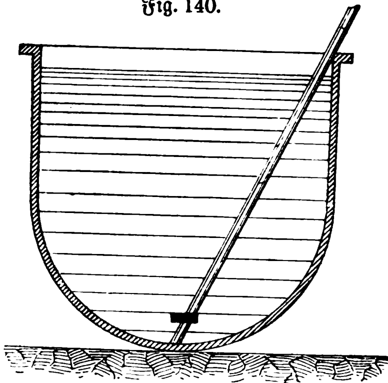


Fig. 139.



c) Sprengung von Eisenbestandteilen. Die Zerstörung ganzer Eisenkonstruktionen kommt in der Zivilindustrie höchst selten vor. Hat man solche auszuführen, so lege man die Ladungen an die Verbindungsstellen dicht an. Bei Anwendung von Gelatinedynamit berechne man die Ladung für Platten aus Gußeisen nach der Formel $L = \frac{b\,d^2}{300}$, für solche aus Schmiedeeisen nach $L = \frac{b\,d^2}{150}$, wobei b die Breite, d die Dicke der Platte, beide in Centimetern, ist; b ist stets mindestens gleich 16 cm anzunehmen. Die Ladung wird in rechteckiger Form auf die ganze Breite der Platte gleichmäßig verteilt und schlägt diese dann scharf durch.

Fig. 140.



Bei gußeisernen Säulen befestige man die Ladung an deren Fuße und bedecke sie mit Erde; man berechnet sie aus $\frac{d^2}{20}$ unmittelbar in Kilogrammen. Alte Gußstücke, Kessel und dergleichen, welche einen Hohlraum besitzen, werden mit Wasser angefüllt, und die (durch Eintauchen in Paraffin oder dergleichen) wasserdicht gemachte Ladung nahe an den Boden gebracht, indem man sie an eine Stange bindet, oder an einem Bindfaden hinabläßt (Fig. 140). 100 g Gelatinedynamit genügen z. B. für einen gußeisernen Kochkessel von 2 m oberem Durchmesser und 30 mm Wandstärke. Haben die zu sprengenden Eisenstücke keine

Hohlräume, so werden Löcher hineingebohrt. Zwingt die Nähe von Bauwerken zu besonderer Vorsicht, so nimmt man nur schwache Ladungen, wiederholt sie aber bis zur erfolgten Zerteilung.

d) Sprengung von Holz. Bei einzelnen Balken wird die Ladung, nach der Formel $L = 0{,}003\, d^2$ (d = größter Durchmesser in Centimetern) berechnet, in rechteckiger Form aufgelegt.

In gleicher Weise berechnet sich die Ladung für Baumstämme. Macht man nur ein Bohrloch in den Baumstamm, so wird er stark zersplittert. Stärkere Bäume bohrt man daher zweckmäßig kreuzweise so an, daß die beiden Bohrlöcher sich schneiden (Fig. 141); werden dann beide Löcher geladen und besetzt, so braucht man nur in eines derselben ein Zündhütchen zu geben, und der Baum wird dann nahezu glatt abgebrochen.

Sind Baumstämme (Piloten) unter Wasser zu zerstören, so legt man die wasserdicht gemachte Ladung (0,75 kg Dynamit für Piloten von 30 bis 40 cm

Fig. 141.

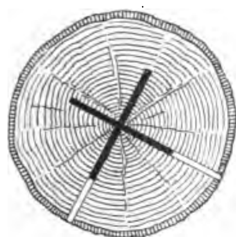
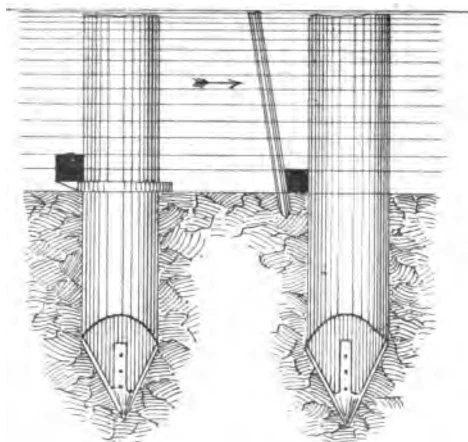


Fig. 142.



Durchmesser) dicht an die Pilote. Um sich dessen zu versichern, kann man die Ladung an einen Faßreifen binden und diesen an der Pilote so hinablassen, daß die Ladung von der Strömung gegen sie gedrückt wird; oder man bindet sie an eine Stange, welche man neben die Pilote eintreibt (Fig. 142). Soll die Pilote unter dem Flußgrunde abgesprengt werden, so bohrt man sie bis zur gewünschten Tiefe mit einem Schneckenbohrer an, und ladet wie in einem Bohrloche.

In Ausnahmefällen kann man Reihen oder Gruppen von Piloten durch eine oder mehrere Ladungen von Dynamit zerstören, welche nicht notwendigerweise die Piloten berühren müssen; jedoch wächst der Sprengmittelverbrauch ganz außerordentlich mit der Anzahl der durch eine Ladung zu nehmenden Piloten und mit der Entfernung der Ladung von ihnen.

Die Sprengung von Wurzelstöcken ist nur bei harten Holzgattungen ökonomisch durchzuführen. Weiche Holzarten sind zu elastisch, die Größe der Ladungen steht außer Verhältnis zum Werte des erzielten Holzes. Man beseitigt vor allem durch Abhauen die Seitenwurzeln, und bohrt bei kleineren Stämmen von der Schnittfläche aus ein Loch bis in die Hauptwurzel, ladet

und besetzt; bei größeren Stöcken bohrt man die Löcher kreuzweise, wie vorhin angegeben, möglichst dicht am Boden, oder man bohrt gegen die Hauptwurzel mehrere Löcher und zündet sie elektrisch.

e) Sprengungen in Erde. Derlei Sprengungen kommen gewöhnlich da vor, wo der Boden mit der Krampe schwer zu bearbeiten oder gefroren ist. Man schlage mit einer zugespitzten Eisenstange reihenweise Löcher in den Boden, welche man ladet und besetzt; die Eisenstange hat oben ein Auge, in welches man eine zweite Stange zum Herausziehen stecken kann. Man mache die Ladung $L = ct^3$, wobei t die Tiefe des Bohrloches, c der Wirkungskoeffizient ist. Die Entfernung der Bohrlöcher voneinander sei höchstens das Doppelte der Lochtiefe.

In ähnlicher Weise kann man Ackerboden auflockern, welcher dem Pflügen zu großen Widerstand entgegensetzt, ferner undurchlässige Schichten zertrümmern, um dem Wasser Zutritt zu schaffen, oder, wie in den Petroleumbohrlöchern von Pennsylvanien und Galizien, durch Niederlassen starker Ladungen auf die Bohrlochssohle zeitweiligen stärkeren Ölzufluß bewirken.

Die entgegengesetzte Wirkung wird in gewachsener Erde oder sonst leicht zusammendrückbarem Boden beabsichtigt, wenn derselbe so wasserführend ist, daß die Erdaushebung zur Herstellung von Fundamenten schwierig wird. Man treibt dann nach einem von Bonnetoud angegebenen Verfahren Löcher von 1 bis 3 m Tiefe in den Boden, ordnet eine Dynamitladung auf mindestens die Hälfte der Länge an, und erhält dann eine erweiterte Grube, in welche man einen offenen Blechzylinder einsetzen und Beton eingießen kann. Der Zylinder wird mit dem allmählichen Vorschreiten des Betons höher gehoben. Je nach der Beschaffenheit des Bodens widerstehen die durch die Sprengung zusammengedrückten Wände eine bis zwei Stunden dem neuerlichen Erweichen, während welcher Zeit alle Arbeit getan sein muß.

f) Sprengungen unter Wasser. Die Schwierigkeit, unter Wasser zu arbeiten, wächst bedeutend mit der Tiefe und der Stärke der Strömung. Sprengungen in ausgedehntem Maße, wie z. B. die Beseitigung großer Schiffahrtshindernisse, werden eingehende Prüfung der obwaltenden Verhältnisse erfordern, aus welcher man sich den Arbeitsplan machen muß.

Bei Bach- und Flußverbesserungen, wo es sich meist um Beseitigung von Stromschnellen, stellenweise um Tieferlegung des seichten Grundes handelt, wird man eine Notbrücke anlegen, oder bei größerer Breite ein Schiff verankern, um eine Arbeitsbühne zu schaffen. Seitlich an dieser Bühne befestigt man in passenden Abständen zwei mit Löchern versehene Eisenklammern, durch welche die Bohrstange gesteckt wird (Fig. 143). Man hat so eine gute Führung, und kann innerhalb eines beschränkten Kreises bohren, ohne den Stand des Schiffes zu wechseln.

In ähnlicher Weise hilft man sich durch ein Gerüst, wenn man am Ufer zu sprengen hat. In tieferen Flüssen oder Strömen wird man durch größere Schiffe oder eine Anzahl von Pontons eine gegen Schwankungen möglichst gesicherte Bühne herstellen, dann aber auch schon die Maschinenbohrung zu Hilfe nehmen müssen.

Um den Bohrer von dem Druck der Strömung zu entlasten, kann man entweder das Wasser zurückstauen, oder über den Bohrer ein Eisenrohr schieben, oder auch nur in der Richtung der Strömung den Bohrer mit einer Holzrinne, Winkeleisen oder dergleichen verstellen.

Sollen die Bohrlöcher geladen werden, so setzt man ein Eisenrohr auf das Loch, und läßt durch dieses die Patronen hinein. Die Wasserhöhe genügt meist als Besatz, ist sie jedoch unter 0,50 m, so läßt man trockenen Sand durch das Eisenrohr in das Loch rinnen. Um sicher zu gehen, ist elektrische Zündung vorzuziehen. Als Ladung verwendet man Dynamit, da Pulver höchst umständliche Vorkehrungen erfordert und doch nur geringe Wirkung gibt. Das Dynamit wird am besten in Blech- oder paraffinierte Pappbüchsen gebracht.

Wenn man rasch arbeiten und keine besonderen Vorkehrungen treffen will, oder wenn z. B. in Meerestiefen dieselben zu viel kosten würden, so ist es am einfachsten, in passenden Entfernungen auf und um das zu zerstörende Hindernis herum, stets womöglich in dessen natürliche Einbuchtungen, größere Ladungen von Dynamit zu legen (Fig. 144). Der Dynamitverbrauch ist dabei wohl

Fig. 143.

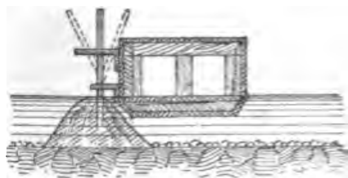
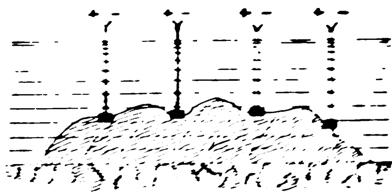


Fig. 144.



bedeutend, die Gesamtkosten aber meist viel geringer, als wenn man Bohrarbeit einrichten wollte.

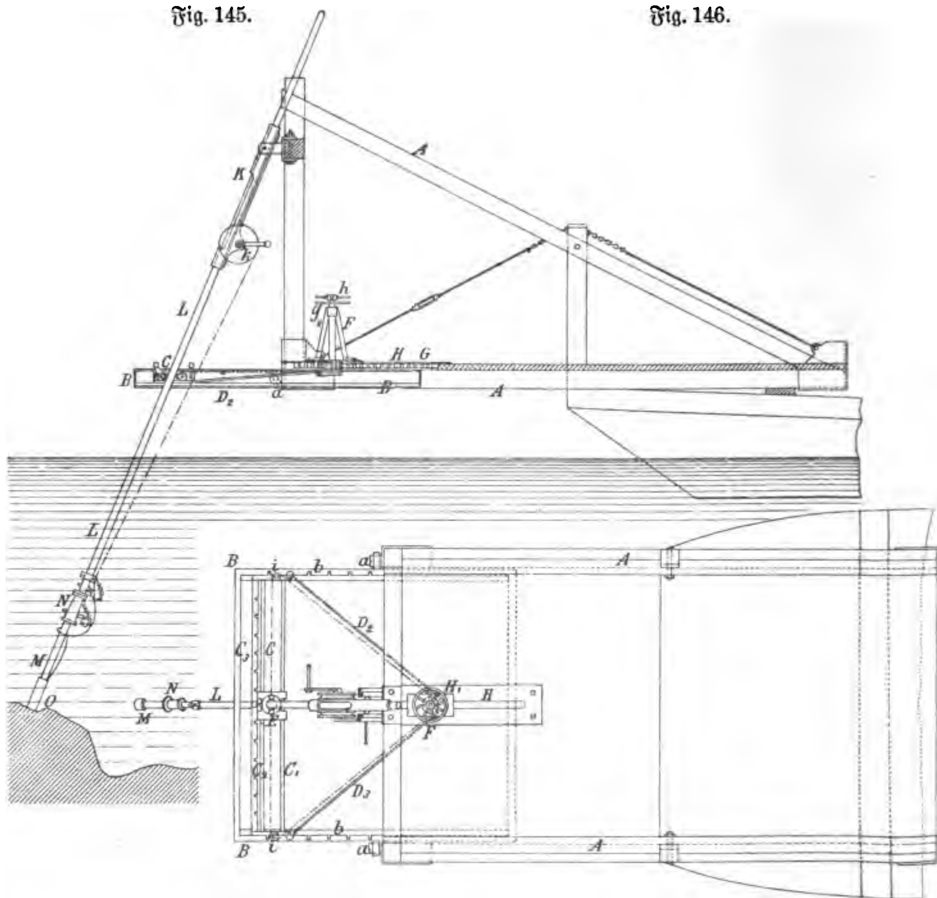
In größeren Flußtiefen (von 3 m an) bietet die Methode des Generals Joh. Lauer große Bequemlichkeit und wesentliche Vorteile (Fig. 145 u. 146).

Auf einem Schiffe befindet sich ein Ausschußgerüst A, das in zwei Zapfenlagern a einen Rahmen B aus U-Eisen trägt, welcher von 20 zu 20 cm Einschnitte b hat, in denen der Führungsrahmen c mit Kugeln d läuft, und mit Sperrklinken c festgehalten werden kann. Ein Schlitten E ist auf den Stangen c_1 und c_2 des Rahmens verschiebbar. Steckt man nun ein Führungsrohr L durch die Schiene K und den Schlitten E, so kann es jede beliebige Stellung auf dem Wassergrunde annehmen. Ein Windstock F vermittelt die Bewegung. In das mit Muffe N versehene Führungsrohr steckt man einen Holzstab M, an welchem die Dynamitladung o befestigt ist. Der Apparat kann ebenso zum Sondieren vor und nach der Sprengung benutzt werden. Mit zwei Gerüsten auf einem Schiffe und Ladungen von 0,25 und 0,50 kg hat Lauer in der Donau bei Peterwardein täglich 4,92 m³ Felsen in Tiefen bis zu 11,5 m abgesprengt, hierbei eine größte Vertiefung von 2,05 m erzielt, und pro m³ 30,96 fl. (etwa 50 Mk.) Kosten gehabt.

Bei der Regulierung der unter dem Namen „Donau Struden“ bekannten Stromschnelle hat die Bauunternehmung A. Schlepitzka ein Bohrgerüst auf

dem Ufer aufgestellt, welches um einen Mast drehbar angeordnet, einen 40 m langen eisernen Gittersteg trägt, der zugleich von einem über eine Rolle und einen Krahn laufenden Drahtseile getragen ist, so daß er in senkrechter wie wagerechter Richtung beweglich ist. An diesem Gitterstege ist die Bohrvorrichtung verschiebbar angebracht. Sie besteht aus einem beliebig zu verlängernden Stahlrohre, welches in eine Diamantbohrkrone (einen Gußstahlring mit eingesetzten schwarzen Diamanten) endigt. Dieses Stahlrohr ist in einer

Fig. 145. Fig. 146.



Bohrspindel befestigt, welche von einer unmittelbar darüber befindlichen sekundären Dynamomaschine mit 1500 bis 2000 Umdrehungen getrieben wird, während durch das Gestänge Wasser zur Spülung gepumpt wird. Der Vorschub erfolgt durch den Bohrmeister von Hand, indem der ganze Apparat, sowie das Gestänge für sich in Schlitten geführt sind. Zur Regelung der Stromstärke, und damit der Geschwindigkeit des Bohrapparates, dienen eingeschaltete Glühlampen.

Ein anderer beim Sprengen des eisernen Tores auf der Donau mit großem Erfolge verwendeter Apparat ist der von Lobnitz u. Co. in Renfrew. Er besteht aus einem Stahlmeißel von 10 bis 15 Tonnen Gewicht mit einer harten Schneide, welcher von einer Höhe von 1,80 bis 3 m frei auf die Gesteinsfläche fallen gelassen wird. Der Meißel wird durch einen Kran hochgehoben, nach Erreichung der erforderlichen Höhe selbsttätig freigelassen, und wenn er seinen Fall beendigt hat, so folgt das ihn tragende Drahtseil und hebt ihn wieder mit Hilfe einer Kuppelung und automatischer Vorrichtung. Die Arbeit wird gewöhnlich in Stufen von 90 cm Dicke betrieben. Der Meißel bricht ungefähr 0,06 cbm Gestein pro Hub und im Durchschnitt werden 150 Schläge pro Stunde gemacht.

Manchmal ist man genötigt, Eisstauungen in Flüssen zu beheben. Ist das Hindernis gering, so schlägt man mit einer am zugespitzten Ende dickeren Eisenstange (wäre sie gleichmäßig dick, so würde sie einfrieren), oder mit einer kleinen Pilote Löcher in das Eis und versenkt Dynamitladungen von 1 kg. In Ermangelung von Dynamit kann man auch Pulverladungen von 2 kg nehmen, welche bei Bedarf natürlich entsprechend verstärkt werden.

Ist der Fluß auf eine größere Strecke vereist, so macht man, stromabwärts beginnend, die Ufer frei, indem man größere Dynamitladungen unter das Eis in das Wasser gibt; hierdurch wird auch die Eisdecke teilweise zerstört, und die abgesprengten Stücke führt die Strömung hinweg.

.r Guttmann, London.

ssiges Paraffin	inusöl	nesisches Holzöl	miniumstearat	der Sebacinsäure	selgur	amarin	lensaurer Kalk	riumcarbonat	stallsoda	riumbicarbonat	iumchlorid	riumchlorid	gnesiumsulfat	riumsulfat	iumbichromat	moniumoxalat	sser

Kupferoxalat	Bleichromat	Kaliumbichromat	Kaliumpermanganat	Graphit	Salzsaures Anilin	Nitroharz	Dinitrobenzol	Mononitronaphtalin	Dinitronaphtalin	Trinitronaphtalin	Dinitrotoluol	Trinitrotoluol	Dinitrobenzol und chloriertes Naphtalin	Wasser
									12					
													5	
							16,5							